

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2012

David Svoboda



**Návrh mechanismu pro výrobu textilních filtračních
vloček z netkané textilie tvořené nanovlákný**

*Design a Mechanism for producing textile filter elements
made of Nanofiber textiles*

KTS - B046

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Kopal, CSc.**

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Martin Konečný, PhD.**

Počet stránek:	41
Počet obrázků:	46
Počet grafů:	3
Počet příloh:	16

Liberec 2012

David Svoboda



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	David Svoboda
Studijní program	B 2341 Strojírenství
Obor	2302 R022 Stroje a zařízení
Zaměření	Stavba strojů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Návrh mechanismu pro výrobu textilních filtračních vložek z netkané textilie tvořené nanovlákný

Zásady pro vypracování:
(uved'te hlavní cíle bakalářské práce doporučené metody pro vypracování)

1. Rešerše současných principů skládání textilií (papíru) v pravidelných záhybech (plisé) s trvalou fixací
2. Stanovení optimálního tvaru skladů s ohledem na prodyšnost filtru
3. Návrh zařízení včetně tepelné fixace pro danou textilií v šířce 100 mm
4. Základní výpočty pro zajištění spolehlivé funkce mechanismu
5. Zpracování výrobní dokumentace

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: **30 stran formát A4**
- grafické práce: **Zpracování výrobní dokumentace**

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

- Höschl, C., P.: Pružnost a pevnost ve strojnictví , Praha 1971
- Středa, T., Sazima, M., Doubrava, J.: Termomechanika, ČVUT Praha 1995

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Kopal, CSc.**

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Martin Konečný, PhD.**



prof. Ing. Jaroslav Beran, CSc.
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan FS

V Liberci dne 17.10.2011

PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci dne 7. května 2012


.....

DECLARATION

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

In Liberec 7. May 2012


.....

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Jaroslavu Kopalovi, Csc. za příjemnou spolupráci během vedení mé práce, za odborné připomínky a konzultace ohledně daného tématu. Dále chci poděkovat mé rodině, která mě po celou dobu studia plně podporovala.

ANOTACE

Tématem mé bakalářské práce je zhotovení konstrukčního návrhu zařízení, které by z netkané textilie tvořené nanovláknny vyrobilo pevně fixovanou filtrační vložku. Práce se zabývá co možnou nejvhodnější variantou řešení.

V první části práce je provedena rešerše způsobů zpracování textilie nebo papíru v podobný výrobek, jako je tvar navrženého filtru. Dále se práce zabývá různými teoretickými principy řešení problému. V praktické části je rozebrán a konstrukčně zpracován nejvhodnější návrh zařízení pro navržené parametry filtrační vložky. Součástí práce je i technická dokumentace navrženého zařízení.

Klíčová slova:

filtr, nanovláknenná textilie, pneumatické písty, mechanismus

ANNOTATION

The topic of my thesis is a fabrication facility design that would make non-woven fabric formed nanofibers produced firmly fixed filter element. This work deals with what the best possible alternative solutions.

In the first part of the work is carried out research ways of processing fabric or paper in a similar product like the shape of the proposed filter. Another part deals with various theoretical principles of problem solving. In the practical part of the design is broken down and processed by optimum design parameters for the proposed facility cartridges. The work also includes technical documentation of the proposed facility.

Key words:

filter, Nanofiber textiles, pneumatic pistons, the mechanism

OBSAH

Seznam použitých symbolů	9
Úvod	10
1. Rešerše současných principů skládání textilií	11
1.1 Výroba vzduchových filtrů	11
1.2 Výroba vlnité lepenky	12
1.3 Výroba plisé	13
2. Stanovení optimálního tvaru filtrační vložky	14
2.1 Odvození koeficientu zřasení textilie	14
2.2 Prodyšnost filtru	15
3. Fixace filtrační vložky	16
3.1 Návrhy fixace	16
3.1.1 Fixace nanášením polymerní vrstvy	16
3.1.2 Fixace nití pokryté polymerní vrstvou	17
3.2 Návrhy metod výroby filtračních vložek	17
3.2.1 Metoda výroby pomocí ozubených válců	17
3.2.2 Metoda výroby válcováním	18
3.2.3 Metoda výroby ohýbáním	19
3.2.4 Metoda výroby lisováním	20
3.2.5 Metoda výroby komplexním skládáním	20
4. Návrh zařízení pro výrobu filtračních vložek	21
4.1 Konstrukce formy	22
4.1.1 Vytápění formy	23
4.2 Konstrukce tvářečů	24
4.3 Matematický popis sdílení tepla formou	24
4.3.1 Ohřev horního dílu formy	25
4.3.2 Ohřev spodního dílu formy	31
4.3.3 Tepelný výkon zařízení	31
4.4 Návrh délky tvářečů	32
4.4.1 Horní tvářeč	32
4.4.2 Dolní tvářeč	34
4.5 Otevírání formy	34

4.6	3D Model konstrukčního návrhu tvářecí jednotky	35
4.7	Kontrola teploty formy	36
4.8	Funkční princip celého zařízení	37
5.	Závěr	39
	Použitá literatura	40
	Seznam příloh	41

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

B	mm	šířka
e	-	Eulerovo číslo (2,7182818 ...)
F	N	síla
g	mm.s ⁻²	gravitační zrychlení (9,81...)
G	N	tíhová síla
H	mm	výška
k_f	-	koeficient zřasení textilie
L	mm	délka
l	mm	délka
l_0	mm	délka nezřasené textilie
m	mm	modul ozubení
n	-	počet
p	mm	rozteč
P	W	výkon
Q	J	teplo
\dot{Q}	W	tepelný tok
r	mm	poloměr
R	Ω	odpor
S	mm ²	plocha
t	°C	teplota
U	V	napětí

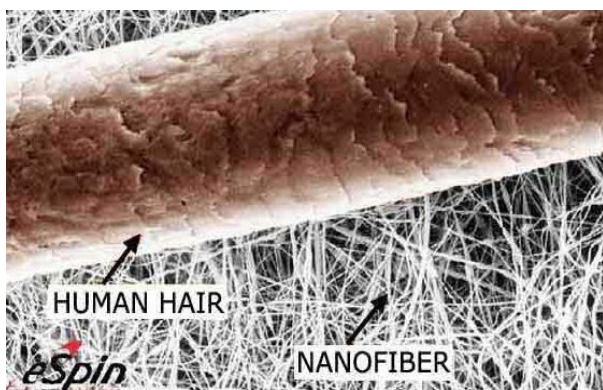
Řecká abeceda

β	rad, °	úhel rozevření textilie
π	-	Ludolfovo číslo (3,1415926 ...)
τ	s	čas

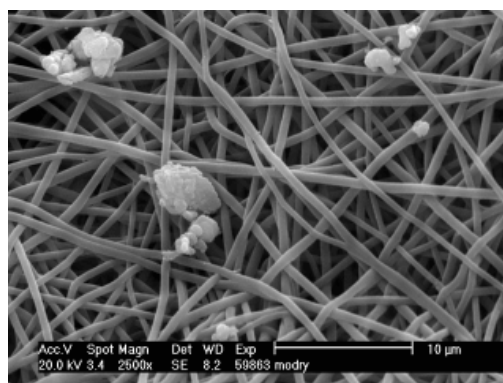
Použité symboly a veličiny neuvedené v tomto seznamu jsou vysvětleny přímo v práci.

ÚVOD

Plynové masky jsou velmi důležité pro mnoho profesí. Všude tam, kde vzduch znečištěný zdraví škodlivými látkami, může ohrožovat člověka. Hlavní součástí plynové masky je filtr, který zachycuje nečistoty ve formě pevných látek (prachové částice, bakterie, viry atd.), kapalných látek (rozpuštěné chemické škodliviny) a plyných látek (radioaktivní plyny a plyné toxické látky). Čím menší má v sobě filtrační látka vzduchové mezery, tím menší částice může zachytit. Pokud tedy použijeme jako filtrační médium netkanou textilií tvořenou nanovláknem, dosáhneme tím co možno největší účinnosti filtru. Na obrázku 1. vidíme porovnání nanovláken s lidským vlasem a na obrázku 2. můžeme vidět bakterii *Escherichia coli* zachycenou na nanotextilii (zvětšeno 2500x). Proto se tato práce zabývá návrhem zařízení, které by bylo schopno takový typ filtrační vložky vyrábět.



Obr. 1. vlas s nanovláknem

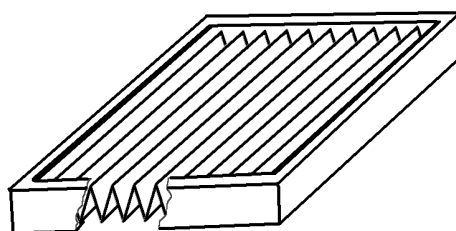


Obr. 2. E-cola v nanotextilii

1. REŠERŠE SOUČASTNÝCH PRINCIPŮ SKLÁDÁNÍ TEXTILIÍ

1.1 VÝROBA VZDUCHOVÝCH FILTRŮ

Nejprve se podíváme na výrobu skládaných vzduchových filtrů. Jejich konstrukce je provedena skladem filtračního média do podoby harmoniky a fixují se pomocí plastového rámečku, který dá filtru pevný tvar a rozměr (Obr. 3). Zároveň pro zvýšení tuhosti je pod filtračním médiem mřížka (Obr. 4).



Obr. 3.



Obr. 4.

Výroba začíná odvíjením filtračního papíru z role (Obr. 5) a ten je protahován skrz dva drážkované válce (Obr. 6), které tlakem vytvoří v papíru podélné drážky (Obr. 7), které po složení filtračního papíru do podoby harmoniky (Obr. 8) zaručí, že se jednotlivé vrstvy papíru nebudou plně dotýkat a bude zaručen průchod vzduchu. Zároveň vytvoří příčné drážky. Ty umožní pravidelné skládání, které je provedeno navíjením papíru na dva spirálovité rotující navíječe po stranách linky.

spirálový navíječ



Obr. 5.



Obr. 6.



Obr. 7.



Obr. 8.

Dále je už složený pás papíru nařezán na rozměr jednotlivých filtrů a ty jsou položeny na kovovou mřížku, která je po obvodu pomocí zařízení opatřena tekutým

pojivem (Obr. 9). To následně chemickou reakcí zatuhne, vytvoří pevnou fixaci mřížky s filtračním papírem (Obr. 10).



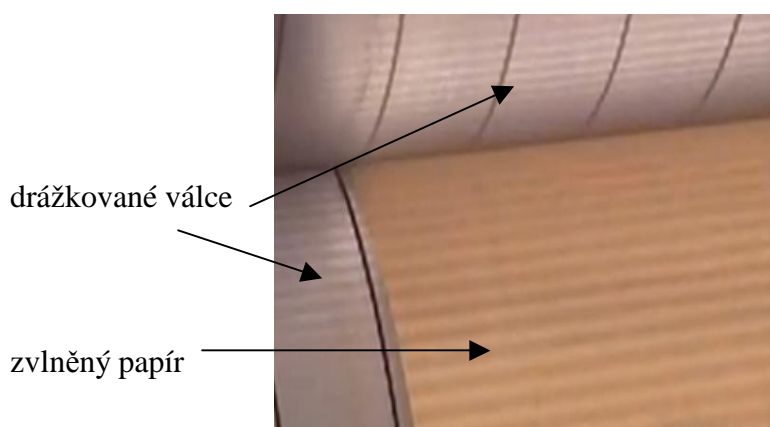
Obr. 9.



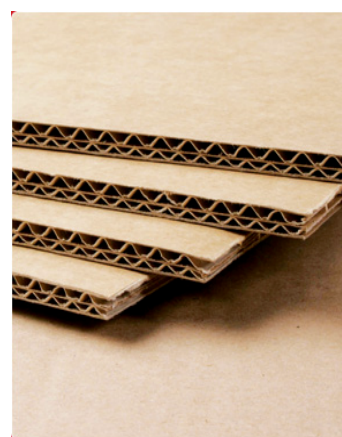
Obr. 10.

1.2 VÝROBA VLNITÉ LEPENKY

K nepoužívanějším obalovým materiálům na bázi papíru patří vlnité lepenky. Jejich význam a spotřeba neustále roste, lze je zároveň jednoduše recyklovat, tedy jejich použití je velmi výhodné. Nyní se podíváme na výrobu vlnité lepenky z papíru. Vlnitá lepenka se zpracovává na speciálním stroji, takzvaném zvlňovacím stroji. Může být tvořená z jedné, nebo více vrstev vlnitého papíru. Princip stroje spočívá v tom, že stroj má dva ocelové válce s podélnými drážkami po obvodu (Obr. 11). Drážky definují výsledný profil papíru, vlnku, která zajistí dostatečnou a pevnost. Válce jsou vyhřívané parou na teplotu cca 180 °C a působí tlakem 6-7 MPa na pás papíru, který je mezi nimi protahován a tvarován. Následně dochází ke slepení vlnitého papíru s rovným papírem, a tím zajištění tuhosti finálního papírového kartonu z vlnité lepenky (Obr. 12).



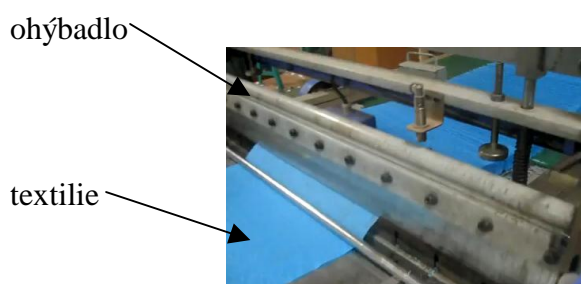
Obr. 11. Výrobní proces



Obr. 12. Finální vlnitá lepenka

1.3 VÝROBA PLISÉ

Poslední popsaná technologie je výroba plisé. Plisé je textilie, nebo jiný plošný útvar s uměle vytvořenými záhyby. Výroba probíhá na plisovacím stroji. Plisování je provedeno pomocí ohýbadla, které se pohybuje nahoru a dolů (obr. 13), do něj krokově postupuje textilie a je ohýbána do výsledné podoby (obr. 14). Získáváme tím kontinuálně pás plisé, který je poté rozřezán na požadovaný rozměr.



Obr. 13.



Obr. 14.

2. STANOVENÍ OPTIMÁLNÍHO TVARU FILTRAČNÍ VLOŽKY

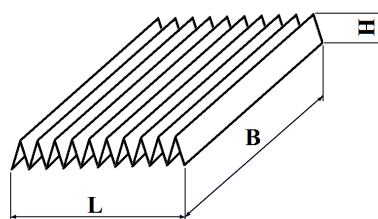
Jako nejjednodušší a nejefektivnější tvar se jeví složení textilie do podoby harmoniky. Díky tomuto tvaru vzroste filtrační plocha, zároveň vzroste i vlastní tuhost filtru. Také zůstane splněná podmínka, že všude je jen jedna vrstva textilie, což zaručí nejlepší možnou prodyšnost, tedy i dýchatelnost skrz filtr. Velikost skladu filtru je popsána koeficientem zřasení textilie k_f , který popisuje zvětšení filtrační plochy vzhledem k rozměrům vlastního filtru.

Rozměry filtrační vložky:

Délka $L = 80 \text{ mm}$

Šířka $B = 100 \text{ mm}$

Výška $H = 6 \text{ mm}$



Obr. 15. Navržený tvar filtru

2.1 ODVOZENÍ KOEFICIENTU ZŘASENÍ TEXTILIE

délka filtru:

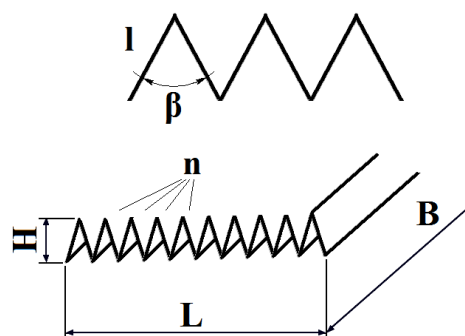
$$L = 2 \cdot n \cdot H \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (1.)$$

(1.) \Rightarrow počet horních skladů filtru n :

$$n = \frac{L}{2 \cdot H \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right)} \quad (2.)$$

rozvinutá délka textilie:

$$l_0 = 2 \cdot n \cdot l = \frac{2 \cdot n \cdot H}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)} \quad (3.)$$



Obr. 16 Rozměrové schéma filt. vložky

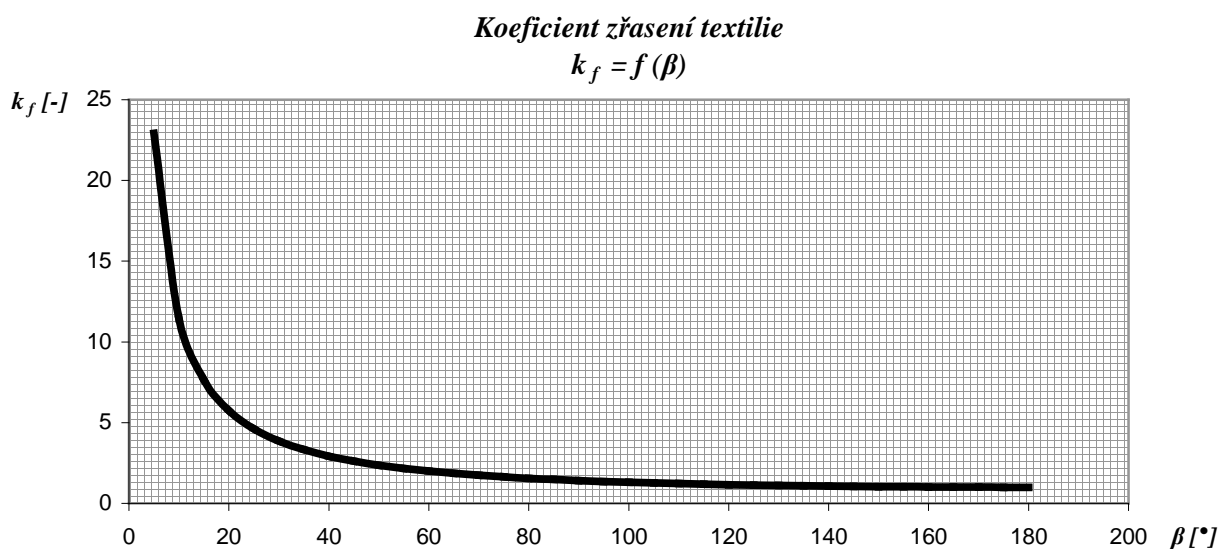
Koeficient zřasení textilie:

$$k_f = \frac{S}{B \cdot L} = \frac{2 \cdot n \cdot H \cdot B}{L \cdot B \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right)} = \frac{2 \cdot L \cdot H \cdot B}{2 \cdot L \cdot B \cdot H \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right)} = \frac{1}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right)} \quad (4.)$$

Kde u koeficientu zřasení (4.) je S filtrační plocha a jmenovatel $B \cdot L$ charakterizuje

filtrační plochu bez skladby textilie, tedy k_f nám popisuje kolikrát ze zvětší filtrační plocha díky vlastní skladbě.

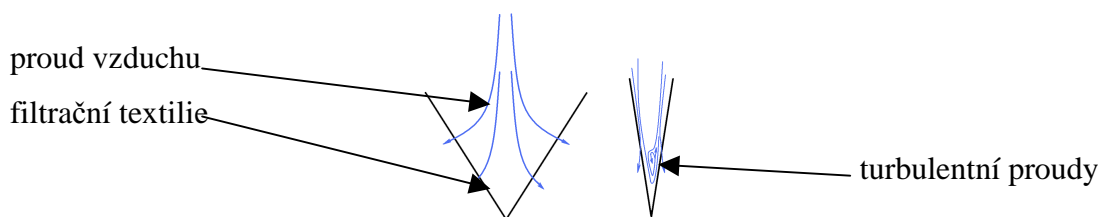
Dále si můžeme všimnout, že koeficient k_f je nezávislý na rozměrech filtru, ale pouze na úhlu β (úhel ohybu textilie). Tedy máme funkční závislost $k_f = f(\beta)$ a můžeme vykreslit grafickou závislost (graf 1).



Graf 1. Koeficient zřasení textilie

2.2 PRODYŠNOST FILTRU

Z grafické závislosti $k_f = f(\beta)$ vidíme, že čím máme menší úhel, tak získáme větší filtrační plochu. Zároveň musíme brát v ohled, že při velkém sevření mohou vznikat turbulentní proudy a docházet k aerodynamickému ucpání filtru. Tedy čím menší úhel β , tím menší prodyšnost filtru (obr. 17). Z důvodu neschopnosti změření prodyšnosti bez funkčního vzorku filtru bude úhel β volen 30° , přičemž se po zhotovení vzorku po sestavení prototypu zařízení změří prodyšnost a následně případně upraví na optimální úhel. Pro $\beta=30^\circ$ je $k_f=3,864$.



Obr. 17.

3. FIXACE FILTRAČNÍ VLOŽKY

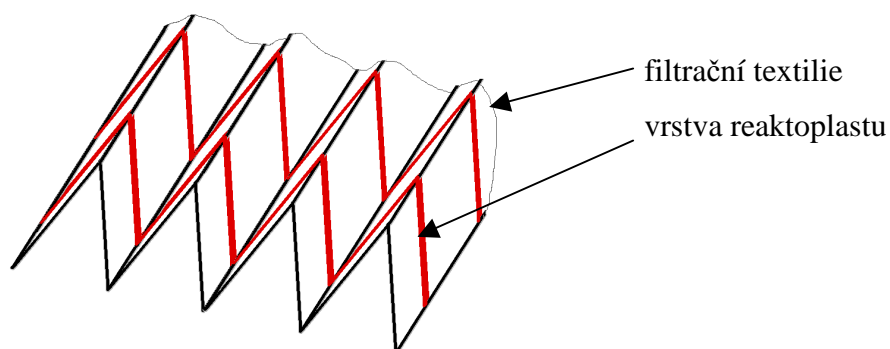
Filtrační textilie musí být fixována, aby měla požadovanou geometrii, která se během používání neporuší a tím bude filtr plnit svou funkci. Zároveň je snaha udělat fixaci co nejjednodušší, aby byla jednoduchá a málo nákladná výroba.

3.1 NÁVRHY FIXACE

Fixace bude realizována působením tepla během vlastního tváření textilie, kdy bude použito fixační médium.

3.1.1 FIXACE NANÁŠENÍM POLYMERNÍ VRSTVY

První způsob fixace tvaru je realizován pomocí reaktoplastu, který by se nanášel na netvarovanou textilií ve formě proužků (červené proužky na Obr. 18) a následně dojde k vlastnímu tvarování při kterém by současně přivedením tepla proběhlo i vytvrzení reaktoplastu a tím i zafixování tvaru.

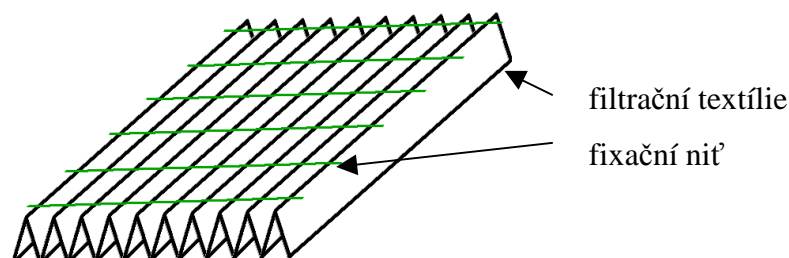


Obr. 18. Fixace textilie reaktoplastem

U této metody není jistá životnost fixace a odhadem přibližně 30% filtrační plochy by bylo ztraceno touto fixací. Není to tedy příliš vhodný způsob.

3.1.2 FIXACE NITÍ POKRYTÉ POLYMERNÍ VRSTVOU

Druhý návrh řešení fixace je pomocí nitě pokryté vrstvou polymeru, který při zahřátí slouží jako pojivo nitě v našem případě s filtrační textilií (Obr. 19).



Obr. 19. Fixace textílie nití

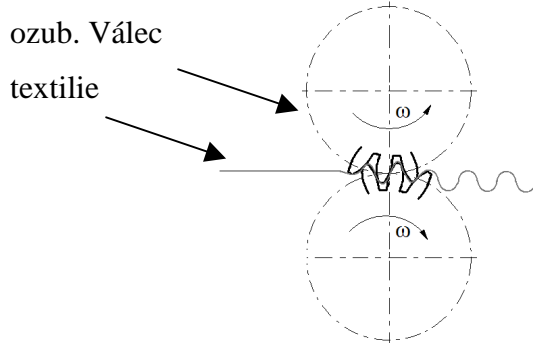
Velká výhoda této metody je minimální ztracení filtrační plochy fixací. Tato metoda se jeví jako nejvhodnější, bude tedy použita. Fixační nitě budou v roztečích 10 mm po obou stranách, přičemž z jedné strany budou posunuty vůči druhé o 5 mm z důvodu zajištění dostatečné tuhosti. Fixační teplota je cca 130°C.

3.2 NÁVRHY METOD VÝROBY FILTRAČNÍCH VLOŽEK

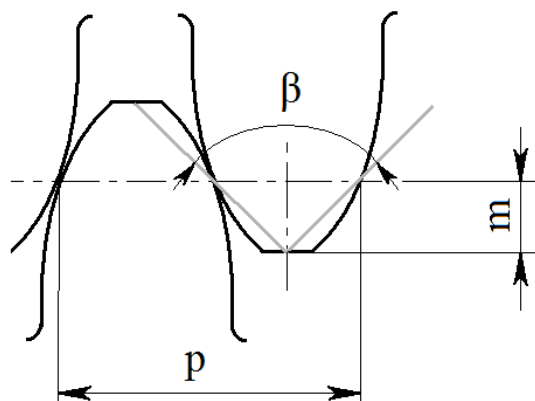
Nadále se musí zajistit požadovaná geometrie filtrační vložky, tedy budou rozebrány jednotlivé návrhy výroby. Z důvodu fixace textílie musí být také výrobní mechanismus v místě fixace zahříván.

3.2.1 METODA VÝROBY POMOCÍ OZUBENÝCH VÁLCŮ

První navržená metoda spočívá v provedení textílie skrz dva ozubené válce (Obr. 20). Jelikož ale musí mít tvar zubu aby šly protáčet, tak v textílii nevzniká dostatečný ohyb a místo požadovaného profilu filtru vzniká přibližně sinusový tvar. Produktivita by byla vysoká, ale z důvodu špatné vzniklé geometrie textílie nelze metodu použít.



Obr. 20. princip výroby

Obr. 21. Detail zdánlivého úhlu β

Ikdyž zde nevznikají přímé ohyby, ale vlna, můžeme uvažovat zdánlivý úhel β (který vzniká jako spojnice vrcholů ohybů). Lze i dokázat, že vzniklý úhel je moc velký, z toho koeficient zřasení je moc malý. Tedy to potvrzuje nevhodnost metody.

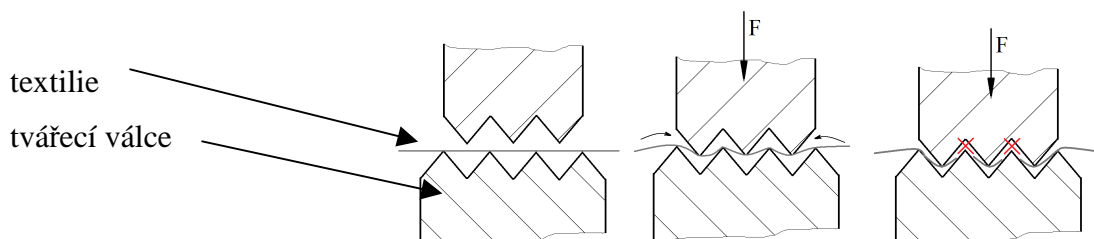
Výpočet zdánlivého úhlu β (Obr. 20):

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{\frac{p}{4}}{m} = \frac{\pi \cdot m}{4m} = \frac{\pi}{4} \quad (5.)$$

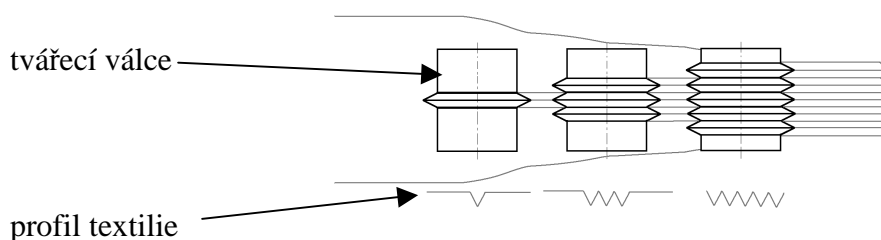
$$\Rightarrow \beta = 2 \cdot \arctg\left(\frac{\pi}{4}\right) = 76,3^\circ \quad (6.)$$

3.2.2 METODA VÝROBY VÁLCOVÁNÍM

Další metoda je založena na principu válcování, kdy je válec po obvodu opatřen profilem filtru. Ovšem nelze použít pouze jednu dvojici válců, protože v tom případě by došlo k přetržení textilie vlivem vtahování (Obr. 22), aby se realizoval požadovaný tvar filtru. Zároveň by vznik profilu musel být postupný, válce by musely být hladké, aby nedocházelo k ničení nanovláknenné vrstvy.



Obr. 22. Přetržení textilie

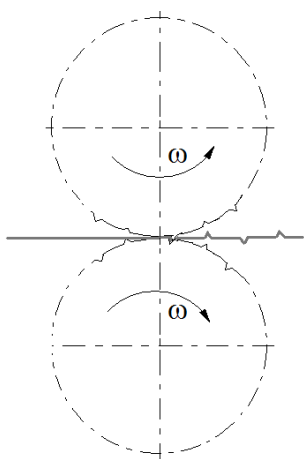


Obr. 23. Postupný vznik profilu

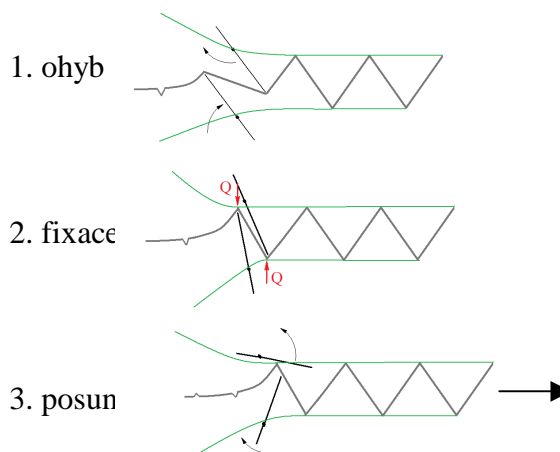
Princip metody lze jednoduše zachytit pomocí schématu (Obr. 23). Ale u metody by mohly vznikat problémy s vtahováním a vzniku nežádoucího vrásnění. Dále by mohlo docházet k narušování struktury textlie. Metoda má na první pohled mnoho nevýhod a potencionálních problémů, není ani jistota funkčnosti principu.

3.2.3 METODA VÝROBY OHÝBÁNÍM

Zde by textlie nejprve prošla dvojicí válců, které by ji opatřily příčnými drážkami (Obr. 24). Ty budou tvořit zlomy v ohybu. Následně by textlie pokračovala do ohýbacího zařízení (Obr. 25), kde by souběžně s ohýbáním vznikala i fixace.



Obr. 24. Výroba zlomů

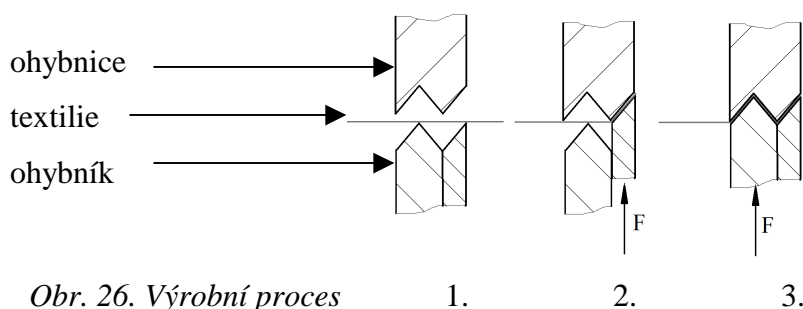


Obr. 25. Výrobní proces

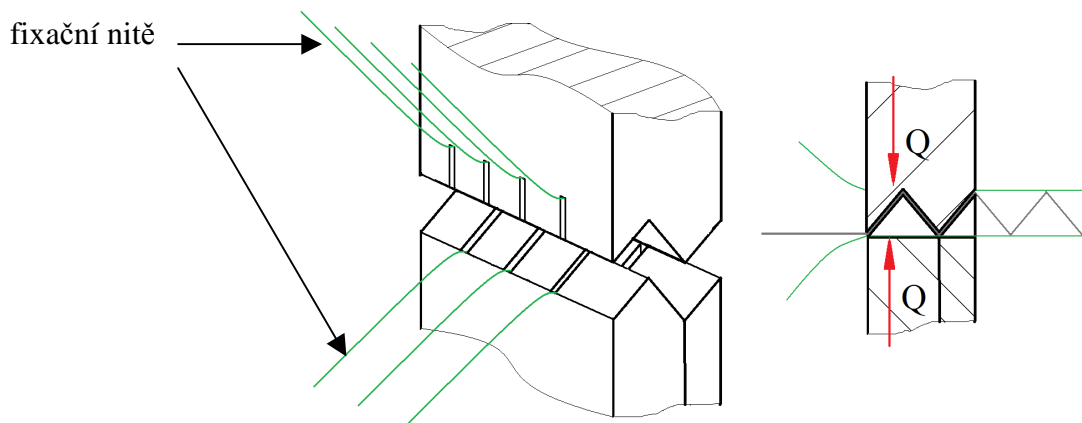
Použitá filtrační textlie je ale příliš měkká, nelze tedy předpokládat plnou funkčnost této metody.

3.2.4 METODA VÝROBY LISOVÁNÍM

U tohoto návrhu výroby vznikají postupně jednotlivé ohyby, ale vzniká zároveň i jejich fixace. První část operace spočívá v přichycení textilie, aby docházelo k jejímu vtahování během ohýbání jen z volné strany a neporušovala se tím už zpracovaná část. Následně dojde k lisování a tím vzniku části profilu (Obr. 26). Během lisování probíhá i fixace pomocí fixační nitě (Obr. 27). Důležitou nevýhodou této metody je malá produktivita.



Obr. 26. Výrobní proces



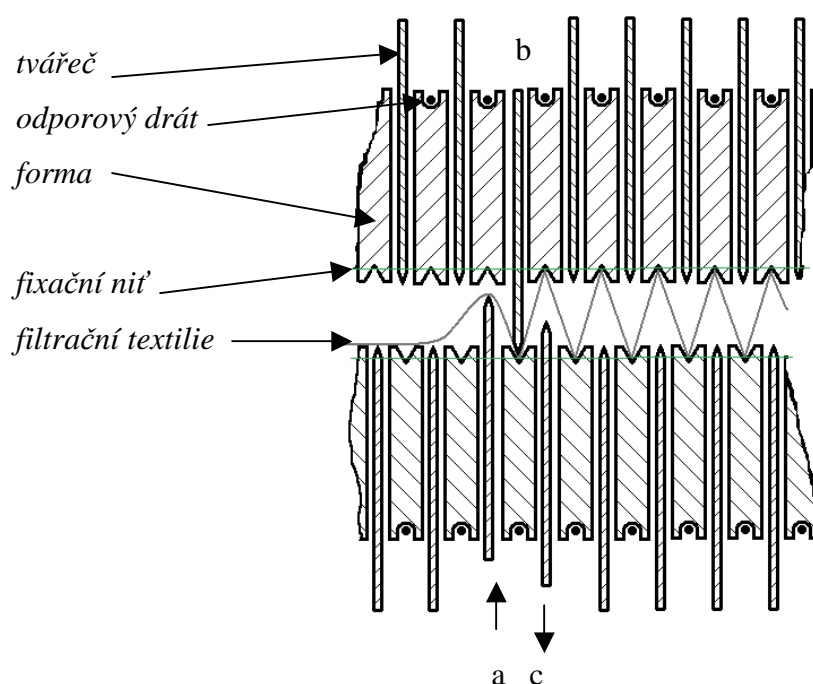
Obr. 27. Fixace

3.2.5 METODA VÝROBY KOMPLEXNÍM SKLÁDÁNÍM

Poslední navrhovaná metoda spočívá ve výrobě celé filtrační vložky najednou. Princip vychází z metody výroby lisování. Tím zajistíme nejlepší možnou produktivitu. Do výrobní jednotky vjede textilie a pomocí tvářeců, s kterými by pohybovali pneumatické písty bude provedeno tváření i fixace. Tato metoda je nejvhodnější a zbytek práce se zabývá návrhem tohoto zařízení.

4. NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU FILTRAČNÍCH VLOŽEK

Výrobní mechanismus je znázorněn na obrázku (Obr. 28), kde vidíme, jak pomocí tvářeců vzniká postupně celá filtrační vložka. Fixace je provedena fixační nití. Ta je přilepena k filtrační textilií pomocí tepla (dojde k natavení polymeru obsaženého v niti), které vyvolává odporový drát vedený formou, a tlaku, který vyvolávají jednotlivé tvářeče během tvarování textilie. S tvářeči budou pohybovat pneumatické písty, tedy prodleva pro vyvolání spoje bude lehce programovatelná řídicí jednotkou, přičemž odhadovaná doba bude mezi 0,1 až 0,5 sekundy. Tedy velká výhoda tohoto principu je viditelná a spočívá ve snadném nastavení fixační doby, která je neznámá a toto by nebylo možné při návrhu pohonu klasickým mechanismem. Směr přísunu textilie je zleva do tvářecí jednotky, proto tvářeni začíná z pravé strany, kde si poslední tvářec textilii uchytí a postupným zpracováváním si zařízení vtahuje potřebné množství textilie. Na obrázku vidíme uprostřed průběh operace, kde tvářec “a” zpracovává textilii, tvářec “b” provádí fixaci, tvářec “c” se už vrací. Napravo pak hotovou část filtrační vložky a nalevo nezpracovanou část. V záběru budou 2 až 3 tvářeče, vždy po zhotovení spoje nesmí být dále v kontaktu s textilií, aby nedocházelo k přepalování spoje, tím také znehodnocování textilie.



Obr. 28. Výrobní mechanismus

4.1 KONSTRUKCE FORMY

Forma bude složena z jednotlivých tvárnic (Obr. 29). Ty budou spojeny po stranách pomocí tyček opatřené na koncích závity a rozteče mezi tvárnicemi budou realizovány pomocí rozpěrných destiček. To bude tvořit pevný celek. Každá tvárnice bude mít podélný žlábek pro odporový drát, který bude vytápět formu a z druhé strany žlábek s geometrickým profilem, který bude složit k výrobě filtru. Z této strany bude povrch opatřen vrstvou PTFE (polytetrafluorethylenu - teflon) z důvodu zabránění ulpívání polymeru z nitě na formu, nebo celkového přilnutí filtrační vložky. Zároveň musí mít forma drážky pro vedení fixační nitě.

Materiál formy volím bronz ČSN 42 3016 (CuSn6), kvůli dobrým tepelným a kluzným vlastnostem.

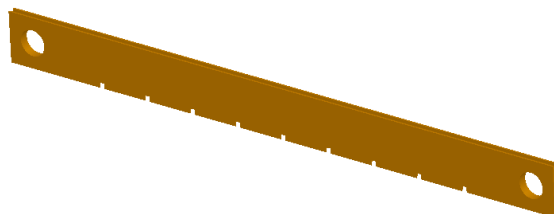
Fyzikální vlastnosti 42 3016:

Hustota $\rho_b = 8800 \text{ kg.m}^{-3}$

Měrná tepelná kapacita $c_b = 380 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Teplotní součinitel roztažnosti $\alpha_b = 18.10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Tepelná vodivost $\lambda_b = 59 \text{ W. m}^{-1}.\text{K}^{-1}$



Obr. 29. Tvárnice

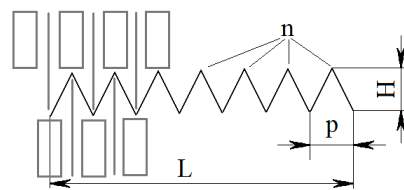
Výpočet základních parametrů formy:

Rozteč filtrační vložky p :

$$p = 2 \cdot H \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right) = 2 \cdot 6 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{30}{2}\right) = 3,2154 \div 3,2 \text{ mm}$$

kvůli zaokrouhlení rozteče se změní i úhel β

$$\Rightarrow \beta = 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{p}{2 \cdot H}\right) = 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{3,2}{2 \cdot 6}\right) = 29,863^\circ$$



Obr. 30. Schéma základních parametrů

z toho koeficient zřasení textlie ze vztahu (4.):

$$k_f = \frac{1}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right)} = \frac{1}{\cos\left(\frac{29,863}{2}\right) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{29,863}{2}\right)} = 3,88$$

- n odpovídá **počtu tvářečů spodního dílu formy** (Obr. 30), tedy:

$$n = \frac{L}{p} = \frac{80}{3,2} = 25$$

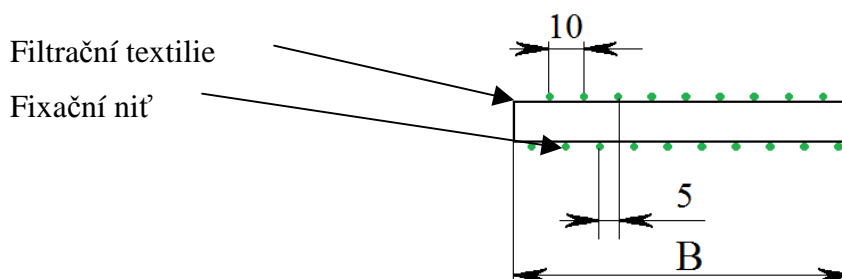
-**počet tvárnic spodního dílu formy** je: $n + 1 = 25 + 1 = 26$

-**počet tvářečů horního dílu formy** odpovídá počtu překližek spodního dílu formy, tedy **26**.

-**počet tvárnic horního dílu formy** je $26 + 1 = 27$.

Počet fixačních nití \Rightarrow počet příčných drážek tvárnice:

Nitě budou v roztečích 10 mm, na dolní straně osazené o 5 mm (Obr. 31).



Obr. 31. Bokorys filtrační vložky

počet nití spodní strany odpovídá počtu roztečí horní strany:

$$n_s = \frac{B}{10} = \frac{100}{10} = 10$$

počet nití horní strany:

$$n_h = \frac{B}{10} - 1 = \frac{100}{10} - 1 = 9$$

4.1.1 VYTÁPĚNÍ FORMY

Formu bude vytápět kanthalový drát. Fyzikální princip vytápění je založen na odporovém principu, kdy elektrickému proudu vykazuje vodič odpor, což znamená narážení pohybujících se elektronů do atomů materiálu, to způsobí jejich rozkmitání (nárůst vnitřní energie – tepla) a to se projeví jako zvýšení teploty. Ten musí být tedy usazen v teflonové trubičce kvůli elektrickému odizolování formy od drátu. Rozměry této trubičky volím 0,6 x 0,2 (vnitřní průměr x tloušťka stěny) pro průměr drátu 0,6 mm.

4.2 KONSTRUKCE TVÁŘEČŮ

Tvářeč slouží k tváření a tvarovému fixování filtrační textilie. Každý bude uchycen pomocí dvou pneumatických pístů. Hrana tvářeče bude opatřena opět vrstvou PTFE z důvodu zabránění přichycování textilie během procesu. Dále musí mít příčné zářezy, aby byl umožněn průchod fixačních nití (Obr. 32).

Materiál tvářeče volím nerezovou ocel 17 042.2 ČSN 41 7042.

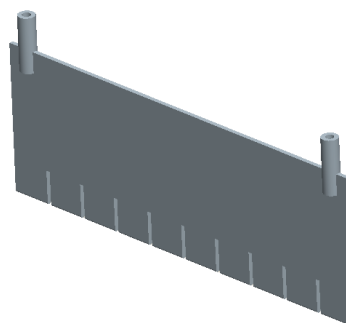
Fyzikální vlastnosti 17 042.2:

Hustota $\rho_o = 7700 \text{ kg.m}^{-3}$

Měrná tepelná kapacita $c_o = 460 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Teplotní součinitel roztažnosti $\alpha_o = 10,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Tepelná vodivost $\lambda_o = 29,3 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$



Obr. 32. Model tvářeče

4.3 MATEMATICKÝ POPIS SDÍLENÍ TEPLA FORMOU

Přestup tepla probíhá z odporového drátu skrz teflonovou trubičku do formy. Na schématu (Obr. 33) vidíme část formy s jedním kanthalovým drátem a máme zde zakótované rozměry a znázorněn průběh teploty teflonové trubičky. U popisu přestupu tepla vyjdeme z Fourierova vztahu.

Fourierův vztah:

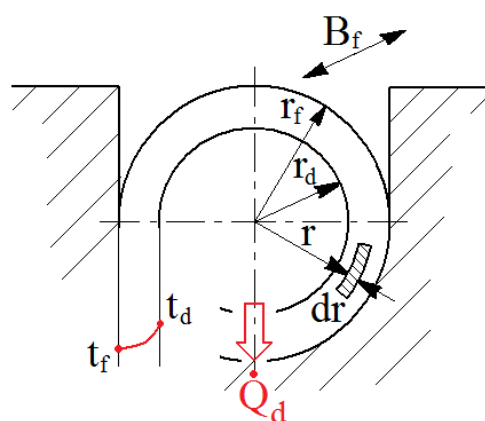
$$\dot{Q} = -\lambda \cdot \text{grad}t \cdot S \quad (7.)$$

kde $\text{grad}t$ je maximální kladná změna teploty ve směru normály k izotermické ploše, tedy v našem případě je to:

$$\text{grad}t = \frac{dt}{dr} \quad (8.)$$

S je izotermická plocha

λ je tepelná vodivost, pro teflon $\lambda_t = 0,24 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$



Obr. 33. Schéma sdílení tepla z topného drátu

Tepelný tok \dot{Q}_d mezi drátem a formou:

Do vztahu (7.) dosazením vztahu (8.) a plochy části teflonové trubičky získáme:

$$\dot{Q}_d = -\lambda_t \cdot \frac{dt}{dr} \cdot \gamma \cdot r \cdot B_f$$

po separaci proměnných (integrační meze jsou od drátu po formu):

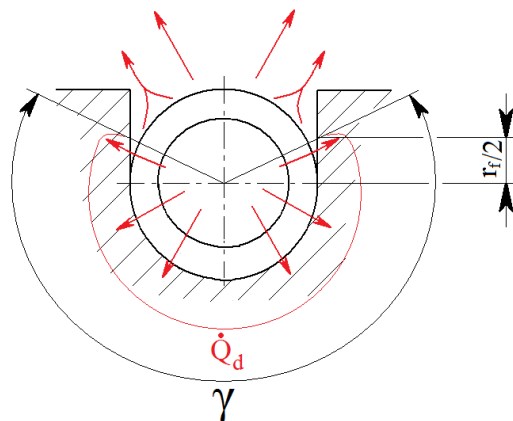
$$\dot{Q}_d \int_{r_d}^{r_f} \frac{dr}{r} = -\lambda_t \cdot \gamma \cdot B_f \int_{t_d}^{t_f} dt$$

po integraci:

$$\dot{Q}_d [\ln|r|]_{r_d}^{r_f} = -\lambda_t \cdot \gamma \cdot B_f [t]_{t_d}^{t_f}$$

vyjádření \dot{Q}_d :

$$\dot{Q}_d = \frac{\lambda_t \cdot \gamma \cdot B_f (t_d - t_f)}{\ln \frac{r_f}{r_d}} \quad [\text{W}] \quad (9.)$$



Obr. 34. Schéma rozložení tepelného toku z topného drátu

Neznáme úhel γ , ten budeme předpokládat vzhledem k malým rozměrům trubičky dle schématu na obrázku 34.

$$\gamma = \pi + 2 \cdot \arctg \left(\frac{r_f}{2} \right) = \pi + 2 \cdot \arctg \left(\frac{1}{2} \right) = 1,2952\pi \doteq 1,3\pi$$

Jelikož teplota formy i drátu není konstantní, zjistíme je na základě kalorimetrické rovnice

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t \quad (10.)$$

4.3.1 OHŘEV HORNÍHO DÍLU FORMY

Pro popis ohřevu formy budou zanedbány ztráty tepla do okolí. Toto lze provést, protože jejich podíl neovlivní razantně výsledek, a po jejich zahrnutí do výpočtu by se kvůli měnícím koeficientům stal výpočet velmi náročný. Výsledek času pro ohřátí formy z pokojové teploty na pracovní bude jen orientační, ale důležitý bude výsledek který nám udá informace o dohřívání formy během výroby filtračních vložek.

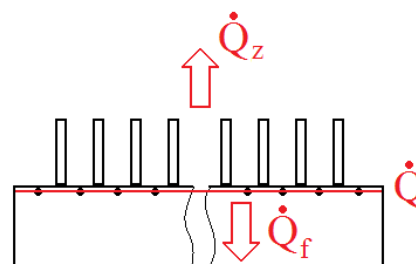
Na základě toho lze určit jaký výkon bude pro ohřev potřebný. Vůle mezi tvářecí a tvárnicemi formy bude natolik malá (0,1mm), že ji lze také zanedbat.

Horní díl formy bude ohřívát 27 drátů, které budou rovnoměrně rozloženy. Lze tedy předpokládat rovnoměrný plošný ohřev tepelným tokem \dot{Q} . Tepelný tok \dot{Q} tedy bude:

$$\dot{Q} = 27 \cdot \dot{Q}_d \quad (11.)$$

Ten se bude skládat z tepelného toku ohřívajícího formu \dot{Q}_f a ztrátového tepelného toku \dot{Q}_z (Obr. 35):

$$\dot{Q} = \dot{Q}_f + \dot{Q}_z \quad (12.)$$

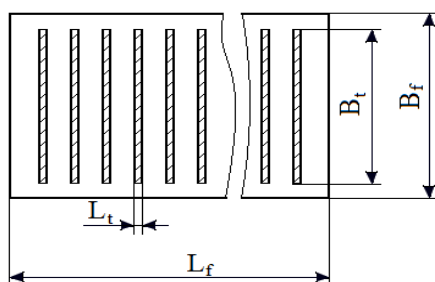


Obr. 35. Rozložení tepelného toku

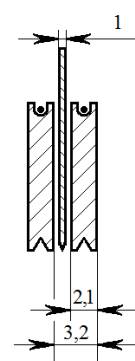
Ztrátový tepelný tok zjistíme jako poměr velikosti plochy, kterou se bude tepelný tok ztrácet vůči celkové vyhřívané ploše (Obr. 36):

$$\frac{\dot{Q}_z}{\dot{Q}} = \frac{S_t}{S_f} = \frac{26 \cdot L_t \cdot B_t}{L_f \cdot B_f} = \frac{26 \cdot 1 \cdot 100}{(3,2 \cdot 26 + 1,7) \cdot 120} = \frac{26 \cdot 1 \cdot 100}{84,9 \cdot 120} = 0,255$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_z = 0,255 \dot{Q} \quad (13.)$$



Obr. 36. Schématický půdorys formy



Obr. 37. Základní rozměry formy

Užitečný tepelný tok \dot{Q}_f bude ze vzorce (12.) tedy:

$$\dot{Q}_f = \dot{Q} - \dot{Q}_z = \dot{Q} - 0,255 \dot{Q} = 0,745 \dot{Q} \quad (14.)$$

Ohřev odporového drátu je popsán Joule-Lenzovým zákonem:

$$\text{Výkon spotřebiče} \quad P = \frac{U^2}{R} \quad (15.)$$

$$\text{Teplo ze spotřebiče} \quad Q = P \cdot \tau \quad (16.)$$

Dosazením (16.) do kalorimetrické rovnice (10.) získáváme **teplotu drátu** t_d :

$$t_d = t_{d0} + \frac{P \cdot \tau}{c_d \cdot m_d} \quad (17.)$$

kde:

t_{d0} je počáteční teplota drátu

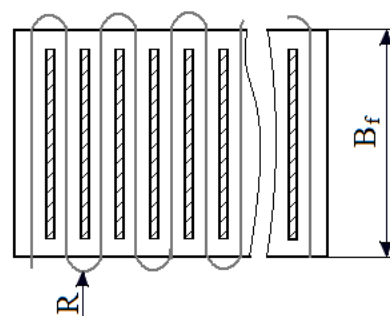
c_d je měrná tepelná kapacita drátu (pro kanthal $c_d = 490 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

m_d je hmotnost drátu, kterou vypočítám z Obr. 38

$$\begin{aligned} m_d &= (27 \cdot \pi \cdot r_d^2 \cdot B_f + 26 \cdot \pi \cdot r_d^2 \cdot \pi \cdot R) \cdot \rho_k = \\ &= [\pi \cdot r_d^2 (27 \cdot B_f + 26 \cdot \pi \cdot R)] \cdot \rho_k = \\ &= [\pi \cdot 0,0003^2 (27 \cdot 0,12 + 26 \cdot \pi \cdot 0,0016)] \cdot 7100 \doteq 6,77 \text{ g} \end{aligned}$$

kde:

ρ_k je hustota kanthalového drátu ($\rho_k = 7100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)



Obr. 38. Topný drát

Teplotu formy t_f opět získáme z kalorimetrické rovnice (10.):

$$t_f = t_{f0} + \frac{Q_f}{c_f \cdot m_f} \quad (18.)$$

kde:

Q_f je celkové teplo dodané formě

t_{f0} je počáteční teplota formy

c_f je měrná tepelná kapacita formy

m_f je hmotnost formy

Měrná tepelná kapacita a hmotnost formy se skládá z mosazné a ocelové části, tedy součin $c_f \cdot m_f$ bude charakterizovat fyzikální vlastnosti formy komplexně.

$$c_f \cdot m_f = c_o \cdot m_o + c_b \cdot m_b = 460 \cdot 0,0339 + 380 \cdot 0,459 = 190 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \quad (19.)$$

m_o hmotnost ocelové části

m_b hmotnost bronzové části

Když už známe vztahy popisující teploty, můžeme dosadit (9.), (11.) do rovnice (14.):

$$\dot{Q}_f = 0,745 \cdot 27 \cdot \dot{Q}_d = 20,115 \cdot \dot{Q}_d$$

$$\dot{Q}_f = 20,115 \frac{\lambda_t \cdot \gamma \cdot B_f (t_d - t_f)}{\ln \frac{r_f}{r_d}} \quad (20.)$$

dále (17.) a (18.) do (20.):

$$\dot{Q}_f = 20,115 \frac{\lambda_t \cdot \gamma \cdot B_f}{\ln \frac{r_f}{r_d}} \left(t_{d0} + \frac{P \cdot \tau}{c_d \cdot m_d} - t_{f0} - \frac{Q_f}{c_f \cdot m_f} \right) \quad (21.)$$

počáteční teploty jsou stejné, můžeme je tedy odečíst, za výkon dosadíme (15.):

$$\dot{Q}_f = 20,115 \frac{\lambda_t \cdot \gamma \cdot B_f}{\ln \frac{r_f}{r_d}} \left(\frac{U^2 \cdot \tau}{R \cdot c_d \cdot m_d} - \frac{Q_f}{c_f \cdot m_f} \right) \quad (22.)$$

po úpravě získáváme lineární diferenciální rovnici prvního řádu s pravou stranou:

$$\dot{Q}_f + 20,115 \frac{\lambda_t \cdot \gamma \cdot B_f}{\ln \frac{r_f}{r_d} \cdot c_f \cdot m_f} Q_f = 20,115 \frac{\lambda \cdot \gamma \cdot B_f \cdot U^2}{R \cdot \ln \frac{r_f}{r_d} \cdot c_d \cdot m_d} \tau \quad (23.)$$

odpor kanthalového drátu je $5 \Omega/m$ (při celkové délce drátu $3,37 m$ je tedy $R=16,85 \Omega$):

$$\dot{Q}_f + 20,115 \frac{0,24 \cdot 1,3 \cdot \pi \cdot 0,12}{\ln \frac{0,5}{0,3} \cdot 190} Q_f = 20,115 \frac{0,24 \cdot 1,3 \cdot \pi \cdot 0,12 \cdot U^2}{16,85 \cdot \ln \frac{0,5}{0,3} \cdot 490 \cdot 0,00677} \tau$$

napětí volím $24V$, tady po dosazení získáváme rovnici:

$$\dot{Q}_f + 0,024 \cdot Q_f = 45,1 \cdot \tau \quad (24.)$$

nejprve řeším homogenní část rovnice (24.):

$$\dot{Q}_f + 0,024 \cdot Q_f = 0 \quad (25.)$$

obecné řešení předpokládám ve tvaru:

$$Q_o = e^{x\tau} \quad (26.)$$

po derivování (26.) podle času τ získáváme:

$$\dot{Q}_o = x e^{x\tau} \quad (27.)$$

(26.), (27.) dosadíme do rovnice (25.):

$$x e^{x\tau} + 0,024 \cdot e^{x\tau} = 0 \quad (28.)$$

(28.) vydělíme $e^{x\tau}$ a dostáváme x :

$$x = -0,024$$

získáváme obecné řešení:

$$Q_o = C \cdot e^{-0,024 \cdot \tau} \quad (29.)$$

dále partikulární řešení předpokládám ve tvaru:

$$Q_p = y \cdot \tau + z \quad (30.)$$

po derivování (30.) podle času:

$$\dot{Q}_p = y \quad (31.)$$

po dosazení (30.) a (31.) do rovnice (24.):

$$y + 0,024 \cdot y \cdot \tau + 0,024 \cdot z = 45,1 \cdot \tau \quad (32.)$$

vyřešíme rovnici (32.) a zjistíme koeficienty y a z :

$$\begin{aligned} 0,024 \cdot y \cdot \tau &= 45,1 \cdot \tau & y + 0,024 \cdot z &= 0 \\ y &= 1879,2 & y &= -0,024 \cdot z \\ & & \Rightarrow z &= \frac{y}{-0,024} = \frac{1879,2}{-0,024} = -76388,8 \end{aligned}$$

získané partikulární řešení je po dosazení y a z do (30.):

$$Q_p = 1879,2 \cdot \tau - 76388,8 \quad (33.)$$

řešení diferenciální rovnice získáme sečtením obecného a partikulárního řešení:

$$Q_f = C \cdot e^{-0,024 \cdot \tau} + 1879,2 \cdot \tau - 76388,8 \quad (34.)$$

konstantu C získáme z okrajové podmínky, že dodané teplo v čase 0 sec je 0 J:

$$Q_f(0) = 0$$

$$0 = C \cdot e^{-0,024 \cdot 0} + 1879,2 \cdot 0 - 76388,8$$

$$\Rightarrow C = 76388,8$$

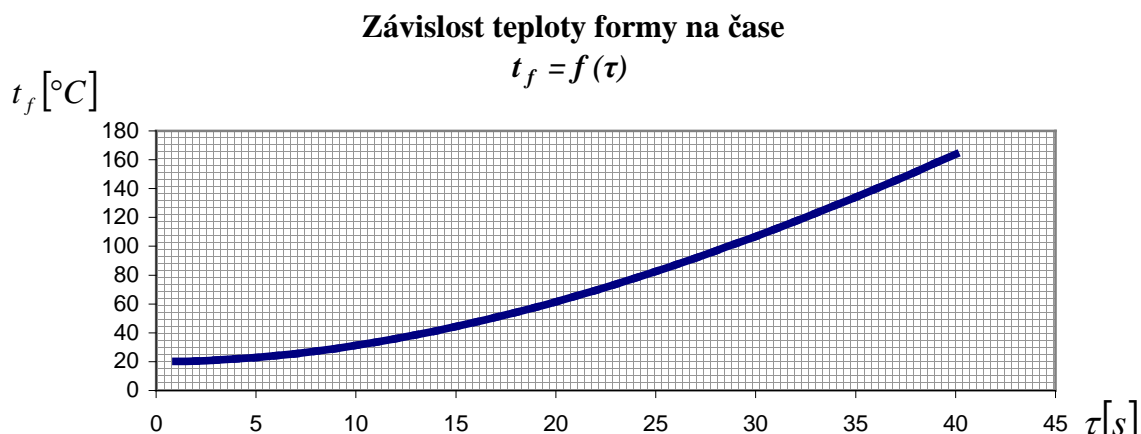
úplné řešení diferenciální rovnice je

$$Q_f = 76388,8 \cdot e^{-0,024 \cdot \tau} + 1879,2 \cdot \tau - 76388,8 \quad [\text{J}] \quad (35.)$$

dosazením do kalorimetrické rovnice formy (18.) získáme teplotu formy v závislosti na čase:

$$t_f(\tau) = t_{f0} + \frac{76388,8 \cdot e^{-0,024 \cdot \tau} + 1879,2 \cdot \tau - 76388,8}{190} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (36.)$$

Ze vztahu (36.) získáváme i grafickou závislost teploty formy na čase (graf 2):



Graf 2. Grafická závislost teploty horního dílu formy na čase

Vidíme, že forma bude zahřátá na požadovaných 130°C za 34 sekund, pokud předpokládáme počáteční teplotu formy 20°C. Rychlost ohřevu je dostatečná i pro dohřívání při poklesu teploty chladnutím. Teplota bude udržovaná pomocí teplotních čidel umístěných ve formě, ze kterých bude vyhodnocovat informaci o teplotě řídicí jednotka, která bude řídit i spínání ohřívání. Tam nastavíme i konkrétní rozmezí pracovních teplot. Jelikož je hmota formy vzhledem k hmotě drátu mnohonásobně větší, nebude docházet přehřívání formy vlivem setrvačného tepelného toku, který vznikne při vypnutí topného drátu od elektrického proudu jako projev větší teploty topného drátu vůči formě. To si můžeme dokázat porovnáním kalorimetrických rovnic topného drátu a formy:

$$\begin{aligned}
 c_f \cdot m_f \cdot \Delta t_f &= c_d \cdot m_d \cdot \Delta t_d \\
 \Rightarrow \Delta t_f &= \frac{c_d \cdot m_d}{c_f \cdot m_f} \cdot \Delta t_d \\
 \Delta t_f &= \frac{490 \cdot 0,00677}{190} \cdot \Delta t_d \\
 \Delta t_f &= 0,018 \cdot \Delta t_d
 \end{aligned} \tag{37.}$$

ze vztahu (37.) vidíme, že při poklesu teploty drátu o 1°C se změní teplota formy o 0,018°C, tedy má zanedbatelný význam.

4.3.2 OHŘEV SPODNÍHO DÍLU FORMY

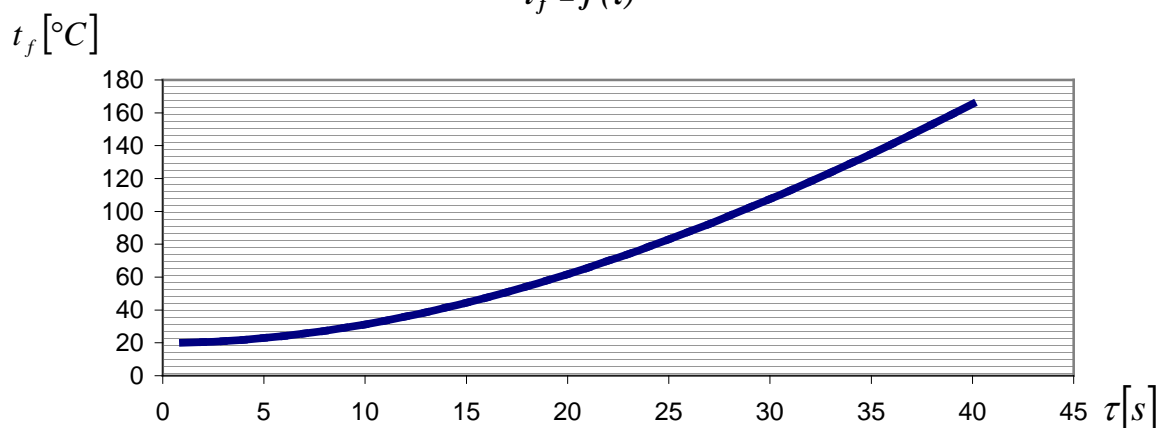
Matematický popis bude totožný jako v kapitole 4.3.1 pro horní díl, jen budou použity parametry pro spodní díl formy (25 tvářečů, 26 tvárnic).

Teplota spodního dílu formy v závislosti na čase:

$$t_f(\tau) = t_{f0} + \frac{85256,5 \cdot e^{-0,023 \cdot \tau} + 1960,9 \cdot \tau - 85256,5}{183} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (38.)$$

Závislost teploty formy na čase

$$t_f = f(\tau)$$



Graf 3. Grafická závislost teploty spodního dílu formy na čase

Křivka ohřevu je skoro totožná pro oba díly formy, tedy pro ohřev vyhovuje 24V.

4.3.3 TEPELNÝ VÝKON ZAŘÍZENÍ

Potřebný výkon pro jeden díl formy zjistíme z rovnice (15.):

$$P' = \frac{U^2}{R} = \frac{24^2}{16,85} = 34,18 \text{ W}$$

Celkový výkon zařízení pro spodní i vrchní díl bude potřeba:

$$P = 2 \cdot P' = 2 \cdot 34,18 = 68,4 \approx 70 \text{ W}$$

Spínání a vypínání ohřevu bude ovládáno elektronickou řídicí jednotkou, která bude vyhodnocovat informace o teplotě formy z tepelných čidel usazených ve formě. V řídicí jednotce se nastaví požadovaný interval teplot, ve kterých se má teplota formy pohybovat.

4.4 NÁVRH DÉLKY TVÁŘEČŮ

S tvářečem bude pohybovat vždy dvojice pneumatických pístů. Dva aby byla zajištěna přesnost vedení.

Navrhovaný typ pneumatického pístu je od firmy FESTO PNEUMATIC:
Typ **EG-4-10-PK-2** který disponuje silou až 6N.

4.4.1 HORNÍ TVÁŘEČ

Píst je možno použít do teploty 60°C, tedy musím navrhnout tvářeče tak, aby bylo dosaženo této podmínky. Ve výpočtu vycházím ze ztrátového tepelného toku (Obr. 35). Ze vztahu (13.) vidíme velikost ztrátového tepelného toku:

$$\dot{Q}_z = 0,255\dot{Q}$$

Pro zjištění tepelného toku \dot{Q} musíme provést časovou derivaci vztahu (35.)

$$\dot{Q}_f = \frac{dQ_f}{d\tau} = \frac{d(76388,8 \cdot e^{-0,024\tau} + 1879,2 \cdot \tau - 76388,8)}{d\tau}$$

$$\dot{Q}_f = 1879,2 - 1879,2 \cdot e^{-0,024\tau} \quad (38.)$$

dosažením do vztahu (13.) získáváme ztrátový tepelný tok

$$\dot{Q}_z = 0,255 \cdot (1879,2 - 1879,2 \cdot e^{-0,024\tau}) = 480 - 480 \cdot e^{-0,0246\tau} \quad (39.)$$

ztrátový tepelný tok je funkcí času, tedy zjistíme maximální hodnotu jako extrém funkce, kterou pak použijeme pro návrh. Extrém funkce zjistíme časovou derivací vztahu (39.), kterou proložíme nulou:

$$\frac{d\dot{Q}_z}{d\tau} = \frac{d(467,5 - 467,5 \cdot e^{-0,0246\tau})}{d\tau} = 11,5 \cdot e^{-0,024\tau} \quad (40.)$$

proložením vztahu (40.) nulou získáme:

$$11,5 \cdot e^{-0,024\tau} = 0 \quad (41.)$$

rovnici (41.) můžeme vydělit 11,5 a vyřešíme logaritmováním:

$$\ln(e^{-0,024\tau}) = \ln 0 \quad (42.)$$

$\ln 0$ není definován, tedy rovnice (42.) přejde do limitního počtu:

$$-0,024 \cdot \tau = \lim_{\tau \rightarrow 0} (\ln \tau) \quad (43.)$$

kde $\lim_{\tau \rightarrow 0} (\ln \tau) = -\infty$

tedy z rovnice (43.) získáváme řešení:

$$\tau = \infty \text{ s}$$

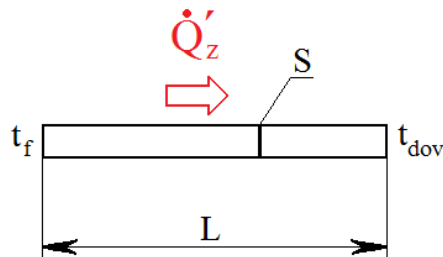
Jelikož ohřev bude trvat přibližně 35s, můžeme místo ∞ uvažovat reálný čas a to tepelný tok, který by byl při ohřívání u 40 sekundy. Při výpočtu budeme vycházet ze sdílení tepla rovnou stěnou. Jelikož ztrátový tepelný tok uvažujeme komplexní, musíme ho rozdělit do jednotlivých tvářeců, kterých je v horním dílu formy 26.

Tedy \dot{Q}'_z jedním tvářecem bude:

$$\dot{Q}'_z = \frac{\dot{Q}_z}{26} = \frac{480 - 480 \cdot e^{-0,024 \cdot \tau}}{26} = 18,5 - 18,5 \cdot e^{-0,0246 \cdot \tau} \quad (44.)$$

pro čas $\tau = 40\text{s}$ získáváme ztrátový tepelný tok jedním tvářecem \dot{Q}'_z :

$$\dot{Q}'_z = 11,4 \text{ W}$$



Obr. 39. sdílení tepla tvářecem

Vztah popisující sdílení tepla stěnou je:

$$\dot{Q}'_z = \frac{\lambda_o}{L} \cdot (t_f - t_{dov}) \cdot S \quad (45.)$$

kde t_{dov} je 60°C, S je průřez tvářeče, tedy ze vztahu (45.) vyjádříme L :

$$L = \frac{\lambda_o}{\dot{Q}'_z} \cdot (t_f - t_{dov}) \cdot S \quad (46.)$$

ze vztahu (46.) zjistíme délku tvářeče L :

$$L = \frac{29,3}{11,4} \cdot (130 - 60) \cdot 0,001 \cdot 0,1 = 0,018 \text{ m}$$

Minimální délku tvářeče potřebnou k tepelnému odizolování volím $L = 20 \text{ mm}$.

4.4.2 DOLNÍ TVÁŘEČ

Matematický popis bude totožný jako v kapitole 4.4.1, pouze pro parametry ohřevu spodního dílu formy, tedy:

$$\dot{Q}'_z = \frac{\dot{Q}_z}{25} = \frac{490 - 490 \cdot e^{-0,023 \cdot \tau}}{25} = 19,6 - 19,6 \cdot e^{-0,023 \cdot \tau}$$

z toho pro čas $\tau = 40s$ získáváme ztrátový tepelný tok jedním tvářečem $\dot{Q}'_z = 11,8 W$.

Ztrátový tepelný tok je pro horní i dolní tvářeč skoro totožný, tedy vyhovuje pro oba minimální délka k tepelnému odizolování 20 mm.

4.5 OTEVÍRÁNÍ FORMY

Po zafixování musí být forma otevřena, aby byl možný odtah vyrobeného filtru. Otvírání bude realizováno pneumatickými písty od firmy FESTO PNEUMATIC, typ **EG-6-10-PK-3**, každý disponuje silou až 14N.

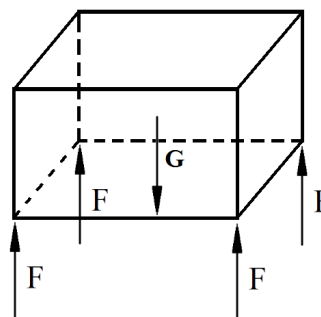
Instalovány budou 4 písty v každém rohu, hmotnost horního zvedaného dílu bude $m = 2,497 kg$.

Tíha horního dílu zařízení bude:

$$G = m \cdot g$$

$$m = 2,497 kg$$

$$G = 2,497 \cdot 9,81 = 24,5 N$$



Obr. 40. Silové schéma otvírání formy

Statická rovnice rovnováhy ve svislém směru:

$$4 \cdot F + G = 0$$

Aby se forma otevřela, musí být splněna podmínka z rovnice rovnováhy:

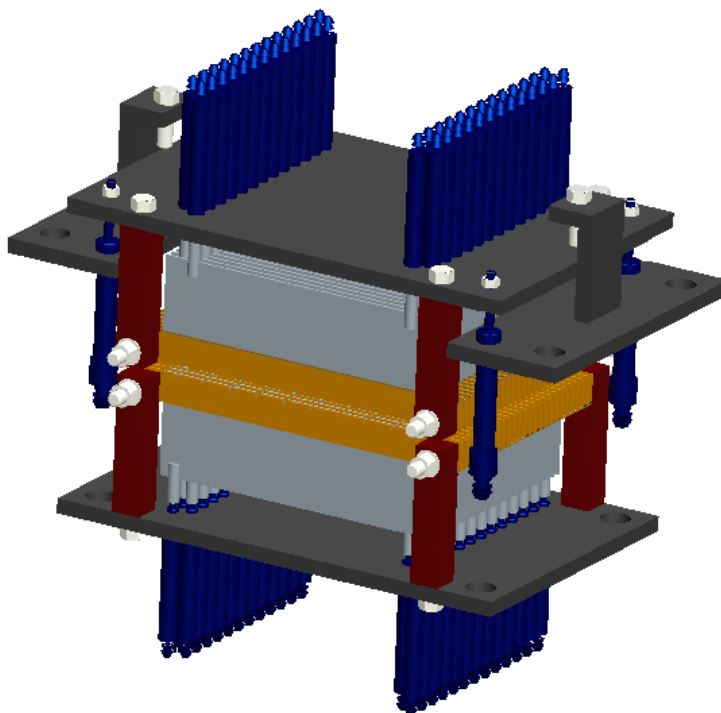
$$4 \cdot F \geq G$$

číselně tedy:

$$56 N \geq 24,5 N$$

Podmínka je splněna s dostatečnou rezervou, tedy otvírání formy bude funkční.

4.6 3D MODEL KONSTRUKČNÍHO NÁVRHU TVÁŘECÍ JEDNOTKY



Obr. 41. 3D model tvářecí jednotky

Na obrázku 41. vidíme sestavu a její součástky rozlišené barevně:

Pneumatické písty – modrá barva

Základové desky – tmavošedá barva

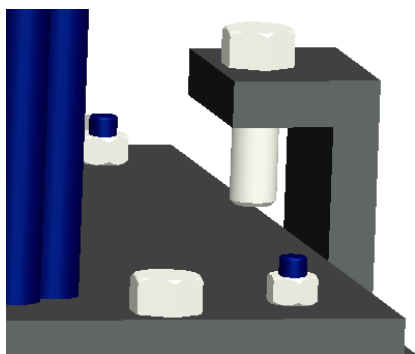
Tvářeče – světlešedá barva

Tvárnice – zlatavá barva

Šroubové spoje – bílá barva

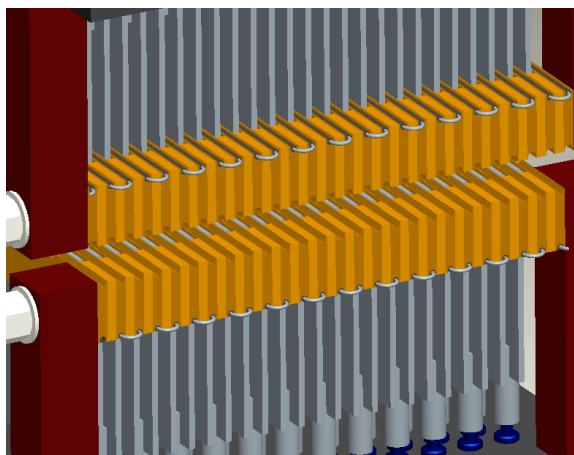
Zbytek konstrukce – rudá barva

Uchycení k rámu stroje bude pomocí čtyř děr pro šroubový spoj. Dále má zařízení stavěcí šrouby (obr. 42), které nám umožní proměnlivé nastavování velikosti zdvihu rozevírání formy.



Obr. 42. Stavěcí šroub

Vytápění formy pomocí kanthalového drátu usazeného v teflonové trubičce je vidět na obrázku 43. Dále je vidět provedení konstrukce, která je sendvičově složená z tvárnic a rozpěrných destiček. Celé je to spojeno pomocí tyčinky, která prochází skrz celou konstrukci a na koncích je opatřena závity. Je vytvořen pevný šroubový spoj.



Obr. 43. Vytápění formy

4.7 KONTROLA TEPLOTY FORMY

Pro kontrolu teploty budou použity dva termočlánky. Pro horní i dolní část tvářecího zařízení jeden. Navržený typ je:

MTC 11 - H0-200-80-10 (průměr 1mm).

Dále budou zapotřebí dva regulátory (opět pro horní a spodní díl tvářecího zařízení jeden). Navrhnutý typ je:

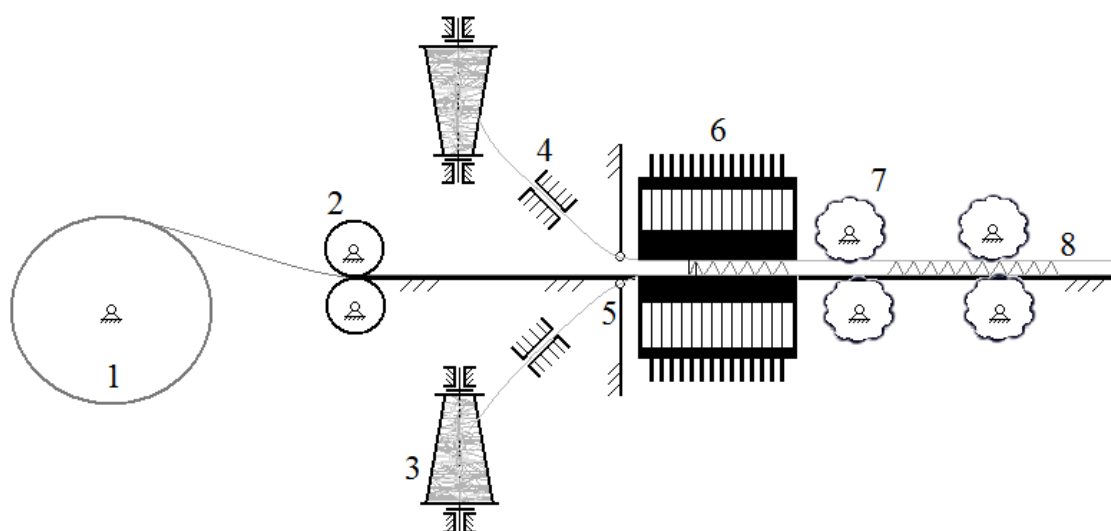
CNY400-101-000-02-AN

Snímače budou připevněny na základě konstrukce rámu zařízení a čidla budou v kontaktu s bronzovou částí formy.

4.8 FUNKČNÍ PRINCIP CELÉHO ZAŘÍZENÍ

Na schématu (obr. 44) je zobrazen princip výrobní linky. Výroba probíhá kontinuálně, získáváme jednotlivé filtrační vložky, které jsou mezi sebou stále spojeny fixační nití (i filtrační textilií) v určitém rozestupu, aby byl umožněný stálý odtah z formy. Následně bude docházet k rozdělení na jednotlivé kusy filtračních vložek.

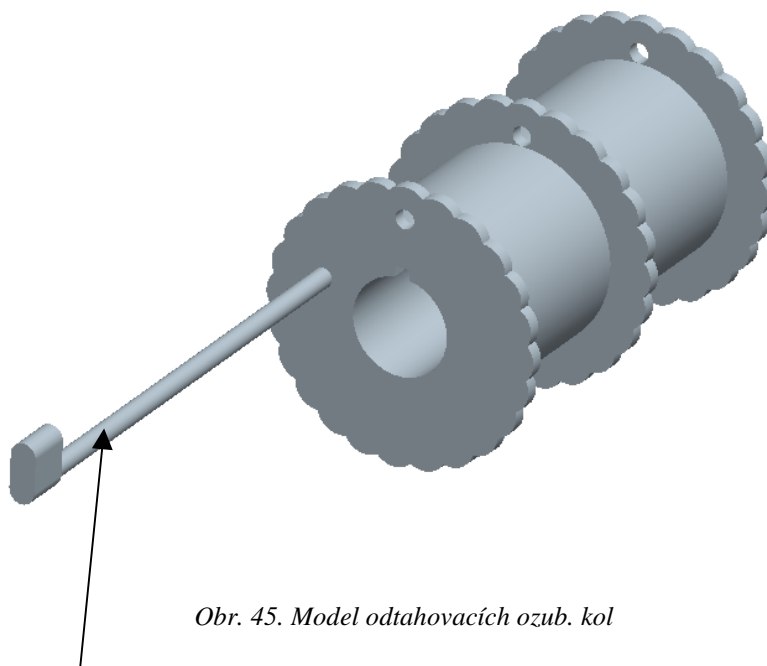
Po zhotovení filt. vložky je forma rozevřena a druhá sekce ozubených kol pokračuje v odtahu předtím vyrobené filt. vložky, čímž dochází k vytahování nově vytvořené filt. vložky z formy, kterou postupně chytá první sekce ozubených kol, která jej předává druhé sekci ozub. kol. Během odtahu dochází k dodávce filtrační textilie i fixačních nití do formy. Fixační nitě jsou bržděny, aby bylo zajištěno jejich vypnutí. Dodávku textilie zajišťují podávací válce a zároveň odtah vlastních filtrů, čímž docílíme plynulé dodávky. Poté se válce i ozubená kola zastaví, forma se uzavře a proběhne opět vlastní tváření.



Obr. 44. Schéma výrobní linky

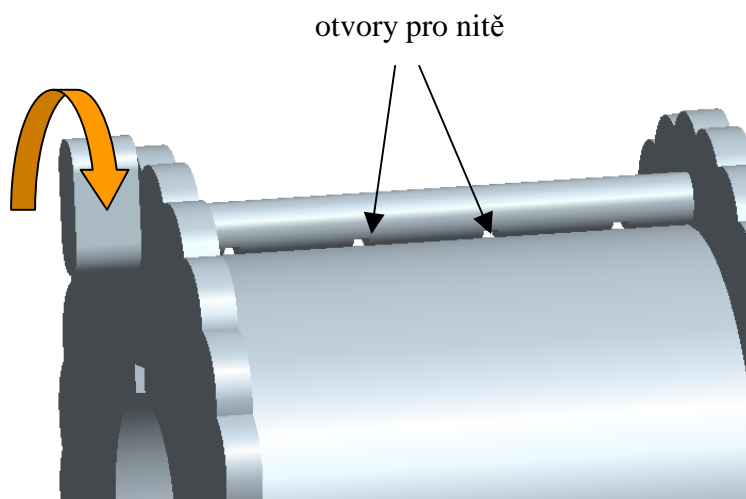
1. role filtrační textilie
2. podávací válce
3. cívky s fixační nití
4. brždění nitě
5. očka pro navádění nitě
6. tvářecí zařízení
7. odtahovací ozubená kola
8. vyrobená filtrační vložka

Aby probíhala kontinuální výroba, tak musí dojít k prvotnímu uchycení nití. Na obrázku 45. je vidět speciální profil zubů, aby docházelo k odtahu bez deformace filtrační vložky. Textilie se natáhne až na konec formy. Níť budou provlečeny skrz očka a formu až na zadní ozub. kola, kde budou provlečeny otvory a poté se otočí klikou a dojde k pevnému připevnění nití (Obr. 46). Vyrobit se první kus filtrační vložky, provede se odtah z formy, filtrační vložku už uchytí přední ozubená kola. Odstraní se upnutí nití a už probíhá sériová výroba.



Obr. 45. Model odtahovacích ozub. kol

upevňovací klička



Obr. 46. Upevňování nití

5. ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout mechanismus, který by byl schopen vyrábět filtrační vložky. Teoretický návrh zařízení se úspěšně povedl, výroba požadovaného tvaru i fixace by měla být zajištěna. Zároveň navrhnutý princip umožňuje flexibilní nastavování časů fixace, rychlosti výroby, což je velmi výhodné u prototypového zařízení, kde není známá potřebná doba fixace, aby byl zaručen dostatečný přestup tepla pro úspěšný spoj fixační nitě s filtrační textilií, ale zároveň musí být zajištěno, aby nedocházelo k zbytečnému přetavování nitě. Toto vše bude tedy nastavováno až během ověřování zařízení při výrobě prvních vzorků.

POUŽITÁ LITERATURA

Knižní publikace:

- [1] Petříková, M., Kryštůfek, P.: Tabulky a diagramy pro termodynamiku, Skriptum, TU v Liberci, 2010.
- [2] Pustka, Z.: Základy konstruování, Skriptum, TU v Liberci, 2008.
- [3] Vávra, P., Leinveber, J.: Strojnické tabulky (druhé doplněné vydání), ALBRA, Úvaly, 2005.
- [4] Mackowski, D. W.: Conduction Heat Transfer, Mechanical Engineering Department Auburn University.
- [5] Lienhard IV, J. H., Lienhard V, J. H.: A Heat Transfer Textbook, Cambridge, Massachusetts, 2008.
- [6] Nožička, J.: Základy termomechaniky, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2004.
- [7] Kaňka, M.: Matematické praktikum - Sbírka řešených příkladů z matematiky pro studenty vysokých škol, Ekopress, s. r. o., Praha, 2010.

Internetové zdroje:

- [8] How It's Made [online] 2012, [22.01.2012]. Dostupné z Internetu:
<http://science.discovery.com/tv/how-its-made/>.
- [9] Plynnová maska [online] 2012, [22.01.2012]. Dostupné z Internetu:
<http://cs.wikipedia.org>.
- [10] Zpracování vlnitých lepenek [online] 2012, [23.01.2012]. Dostupné z Internetu:
<http://www.svettisku.cz>.
- [11] Obrázky nanovláken [online] 2012, [25.01.2012]. Dostupné z Internetu:
<http://www.google.cz>.
- [12] Termočlánky a regulátory [online] 2012, [6.5.2012]. Dostupné z Internetu:
<http://www.mavis.cz>
- [13] Kanthalový drát [online] 2012, [6.05.2012]. Dostupné z Internetu:
<http://www.kntl.cz/>.
- [14] Teflonová hadička [online] 2012, [6.05.2012]. Dostupné z Internetu:
<http://ptfe-flexon.cz/produkt/91/>.
- [15] Pneumatické píсты [online] 2012, [6.5.2012]. Dostupné z Internetu:
http://www.festo.com/pnf/cs_cz/products/catalog.

SEZNAM PŘÍLOH (TECHNICKÁ DOKUMENTACE ZAŘÍZENÍ)**Výkresy podsestav:**

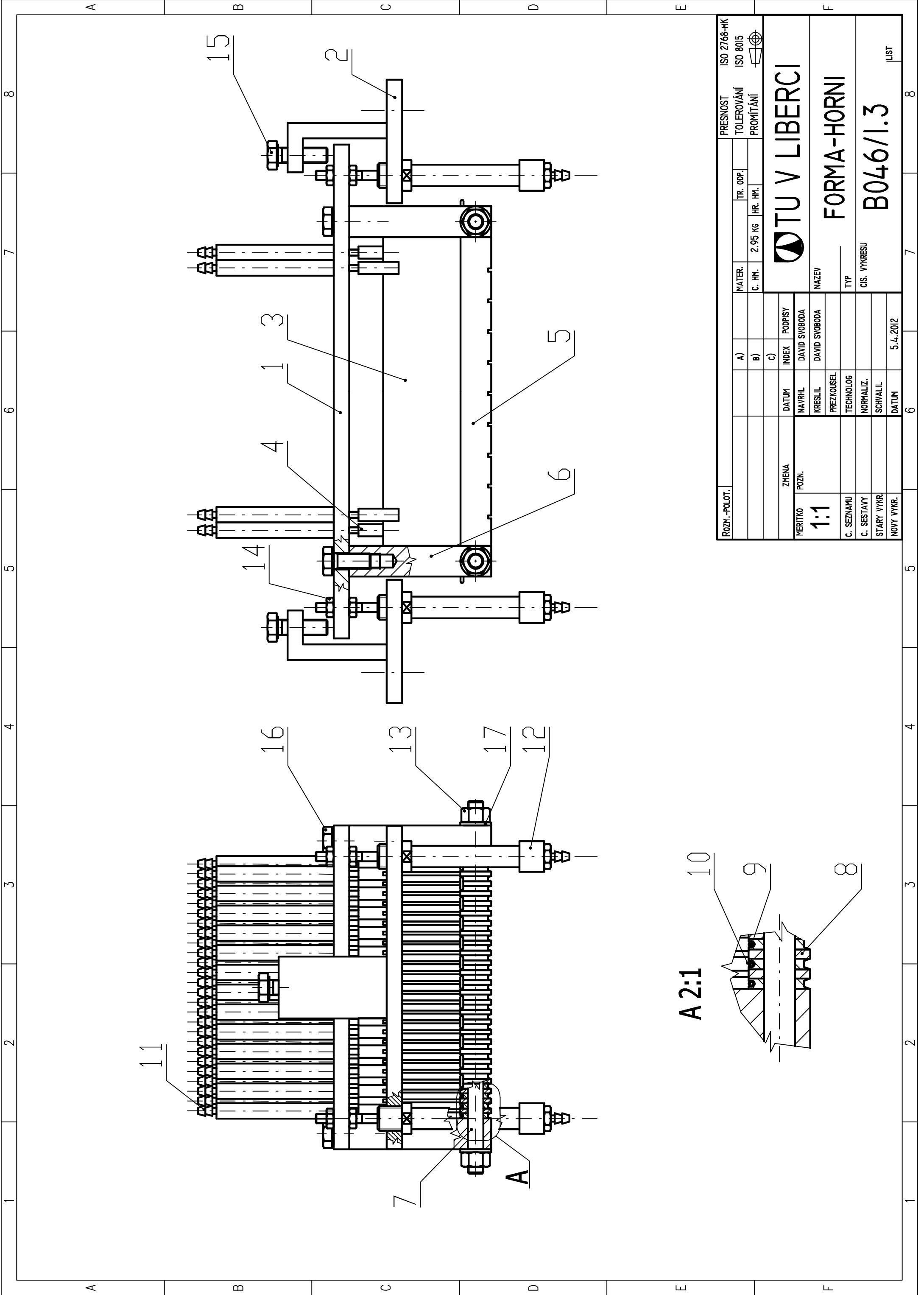
B046/1.3	HORNÍ DÍL FORMY
B046/1.3	HORNÍ DÍL FORMY - KUSOVNÍK
B046/2.3	DOLNÍ DÍL FORMY
B046/2.3	DOLNÍ DÍL FORMY - KUSOVNÍK

Výrobní výkresy:

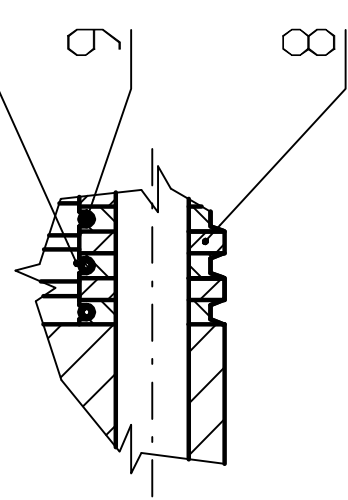
B046/1-1.4	ZÁKLADNA - HORNÍ
B046/1-2.4	ZARÁŽKA
B046/1-3.4	TVÁŘEČ - HORNÍ
B046/1-5.4	TVÁRNICE - HORNÍ
B046/1-7.4	ŠROUB - HORNÍ
B046/2-1.4	ZÁKLADNA - DOLNÍ
B046/2-2.4	TVÁRNICE - DOLNÍ
B046/2-3.4	TVÁŘEČ - DOLNÍ
B046/2-5.4	ŠROUB - DOLNÍ
B046/1(2)-4.4	ÚCHYTKA
B046/1(2)-6.4	SLOUPEK
B046/1(2)-8.4	ROZPĚRNÁ DESTIČKA

PŘÍLOHY:

VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE ZAŘÍZENÍ



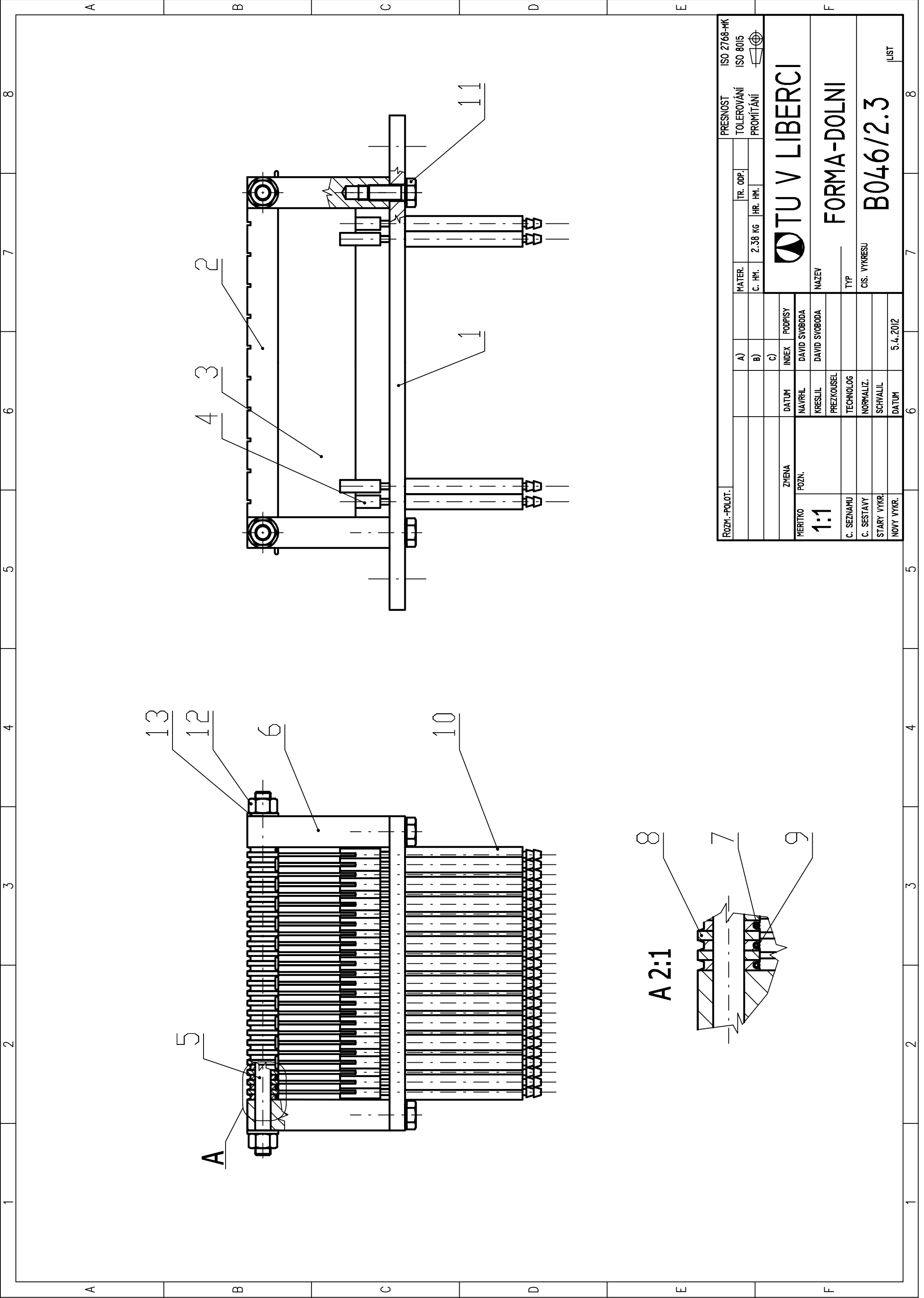
A 2:1



ROZMĚRY - POLOŽKY		PRESNOST		ISO 2768-MK	
		TOLEROVÁNÍ		ISO 8015	
		PROMÍTÁNÍ			
		MATER.		2.95 KG	
		C. HM.		TR. ODP.	
		A)		B)	
		C)		D)	
		INDEX		PODPISY	
		DATUM		DAVID SVOBODA	
		NAVRHL		DAVID SVOBODA	
		KRESLIL		PREZKOUSEL	
		TECHNOLOG		NORMALIZ.	
		SCHVALIL		SCHVALIL	
		DATUM		5.4.2012	
		ZMENA		NAZEV	
		POZN.		TYP	
		MERITKO		CIS. VYKRESU	
		1:1		B046/1.3	
		C. SEZNAMU		LIST	
		C. SESTAVY			
		STARÝ VYKR.			
		NOVÝ VYKR.			

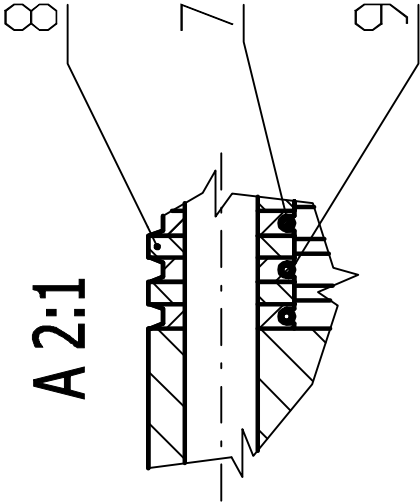
1		2		3		4	
ODK.	OZNACENI		POLOTOVAR		CIS. ZASOBNIKU		MN.
	VYKRES		MATERIAL		POZNAMKA		JED.
1	ZAKLADNA-HORNI		TYC PLOCHA 110x5-160 Z CSN 42 5522.01				1
	B046/I-1.4		II 343				
2	ZARAZKA		SVARENEC				2
	B046/I-2.4						
3	TVAREC-HORNI		PLECH 1x100x35 CSN 42 5315				26
	B046/I-3.4		I7 042.2				
4	UCHYTKA		KR 8-15 CSN 42 5510				52
	B046/I(2)-4.4		II 343				
5	TVARNICE-HORNI		□ 10x2-120 CSN 42 8624.60				27
	B046/I-5.4		43 3016				
6	SLOUPEK		4HR 10-50 CSN 42 5520.20				4
	B046/I(2)-6.4		II 343				
7	SROUB-HORNI		KR 8-125 CSN 42 5510				2
	B046/I-7.4		II 343				
8	ROZPERNA DESTICKA		□ 10x2-9 CSN 42 8624.60				52
	B046/I(2)-8.4		43 3016				
9	TOPNY DRAT		Ø0,6 - 3380				1
			KANTHAL A				
10	HADICKA		HADICKA 0,6x0,2-120				27
			PTFE				
11	PNEUMATICKY PIST						52
	EG-4-10-PK-2						
12	PNEUMATICKY PIST						4
	EG-6-10-PK-3						
13	MATICE M5						4
	ISO 4032						
14	MATICE M3						8
	ISO 4032						
15	SROUB M5x16						2
	ISO 4017						
16	SROUB M5x12						4
	ISO 4017						
17	PODLOZKA 5-A						4
	ISO 7089						

ROZM.-POLOT.					
		A)		MATER.	TR. ODP.
		B)		C. HM.	HR. HM.
		C)			
ZMENA		DATUM	INDEX	PODPISY	
MERITKO	POZN.	NAVRHL	DAVID SVOBODA		 TU V LIBERCI KUSOVNÍK B046/I.3 <small>LIST</small>
1:1		KRESLIL	DAVID SVOBODA		
		PREZKOUSEL			
C. SEZNAMU		TECHNOLOG			TYP
C. SESTAVY		NORMALIZ.			CIS. VYKRESU
STARÝ VYKR.		SCHVALIL			
NOVÝ VYKR.		DATUM	5.4.2012		




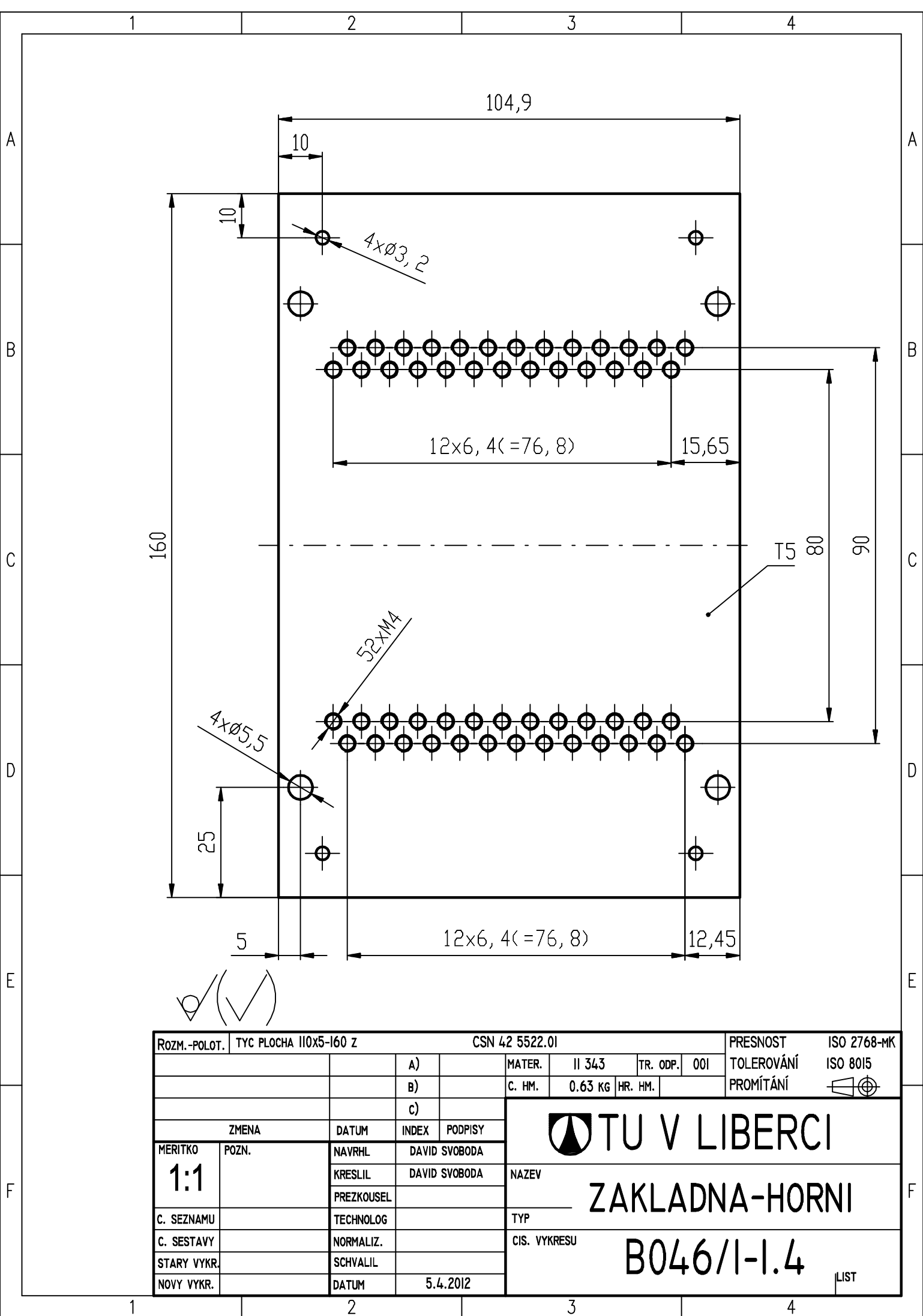
ROZMĚRY - POLOŽKY		PRESNOST		ISO 2768-MK	
		TOLEROVÁNÍ		ISO 8015	
		PROMÍTÁNÍ			
		MATER.		2.38 kg	
		C. HM.		HR. HM.	
		A)		B)	
		C)		INDEX	
		DATUM		PODPISY	
		NAVRHL		DAVID SVOBODA	
		KRESLIL		DAVID SVOBODA	
		PREZKOUSEL		TECHNOLOG	
		NORMALIZ.		SCHVALIL	
		DATUM		5.4.2012	
MERITKO		ZMENA		POZN.	
1:1		DAVID SVOBODA		DAVID SVOBODA	
C. SEZNAMU		C. SESTAVY		STARY VYKR.	
NOVY VYKR.		CIS. VYKRESU		5.4.2012	



TU V LIBERCI
FORMA-DOLNI
B046/2.3

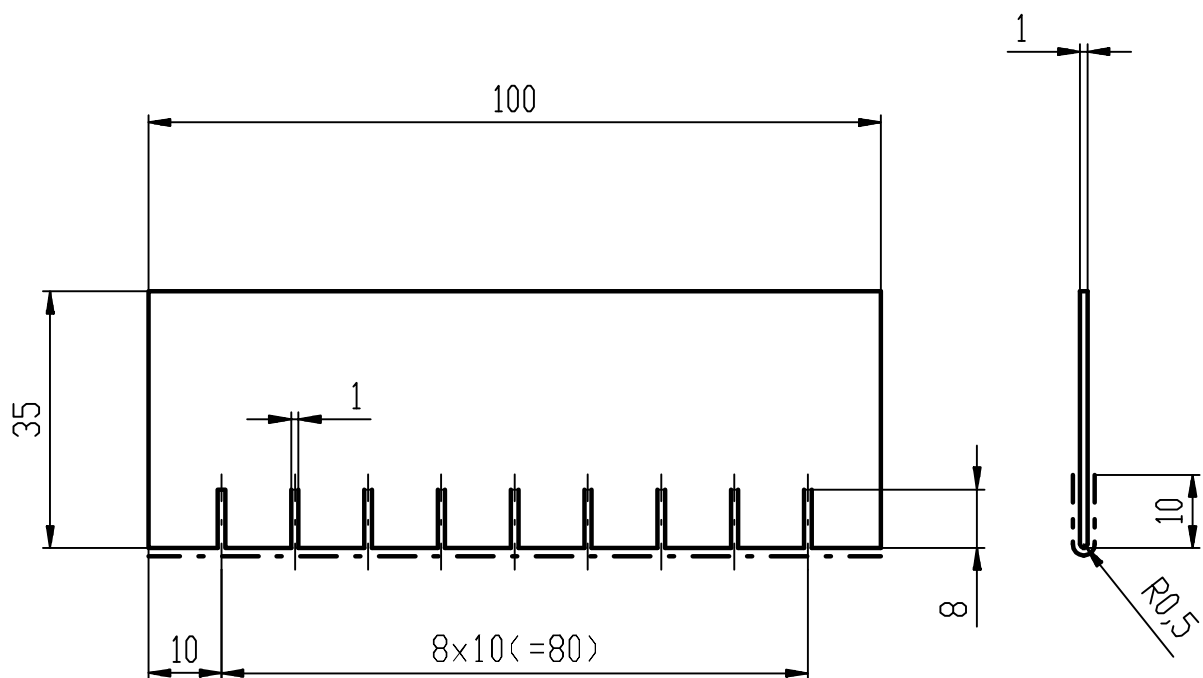


ODK.	OZNACENÍ	POLOTOVAR	CIS. ZASOBNÍKU	MN.
	VYKRES	MATERIAL	POZNAMKA	JED.
1	ZAKLADNA-DOLNI	TYC PLOCHA 110x5-160 Z CSN 42 5522.01		1
	B046/2-1.4	II 343		
2	TVARNICE-DOLNI	10x2-120 CSN 42 8624.60		26
	B046/2-2.4	43 3016		
3	TVAREC-DOLNI	PLECH IX100x35 CSN 42 5315		25
	B046/2-3.4	I7 042.2		
4	UCHYTKA	KR 8-15 CSN 42 5510		50
	B046/1(2)-4.4	II 343		
5	SROUB-DOLNI	KR 8-125 CSN 42 5510		2
	B046/2-5.4	II 343		
6	SLOUPEK	4HR 10-50 CSN 42 5520.20		4
	B046/1(2)-6.4	II 343		
7	TOPNY DRAT	Ø0,6 - 3260		1
		KANTHAL A		
8	ROZPERNA DESTICKA	□ 10x2-9 CSN 42 8624.60		50
	B046/1(2)-8.4	43 3016		
9	HADICKA	HADICKA 0,6x0,2-120		26
		PTFE		
10	PNEUMATICKY PIST			50
	EG-4-10-PK-2			
11	SROUB M5x12			4
	ISO 4017			
12	MATICE M5			4
	ISO 4032			
13	PODLOZKA 5-A			4
	ISO 7089			



ROZM.-POLOT.					
		A)		MATER.	TR. ODP.
		B)		C. HM.	HR. HM.
		C)			
ZMENA		DATUM	INDEX	PODPISY	
MERITKO 1:1	POZN.	NAVRHL	DAVID SVOBODA		 TU V LIBERCI KUSOVNÍK B046/2.3
		KRESLIL	DAVID SVOBODA		
		PREZKOUSEL			
C. SEZNAMU		TECHNOLOG			TYP
C. SESTAVY		NORMALIZ.			CIS. VYKRESU
STARÝ VYKR.		SCHVALIL			
NOVÝ VYKR.		DATUM	5.4.2012		LIST



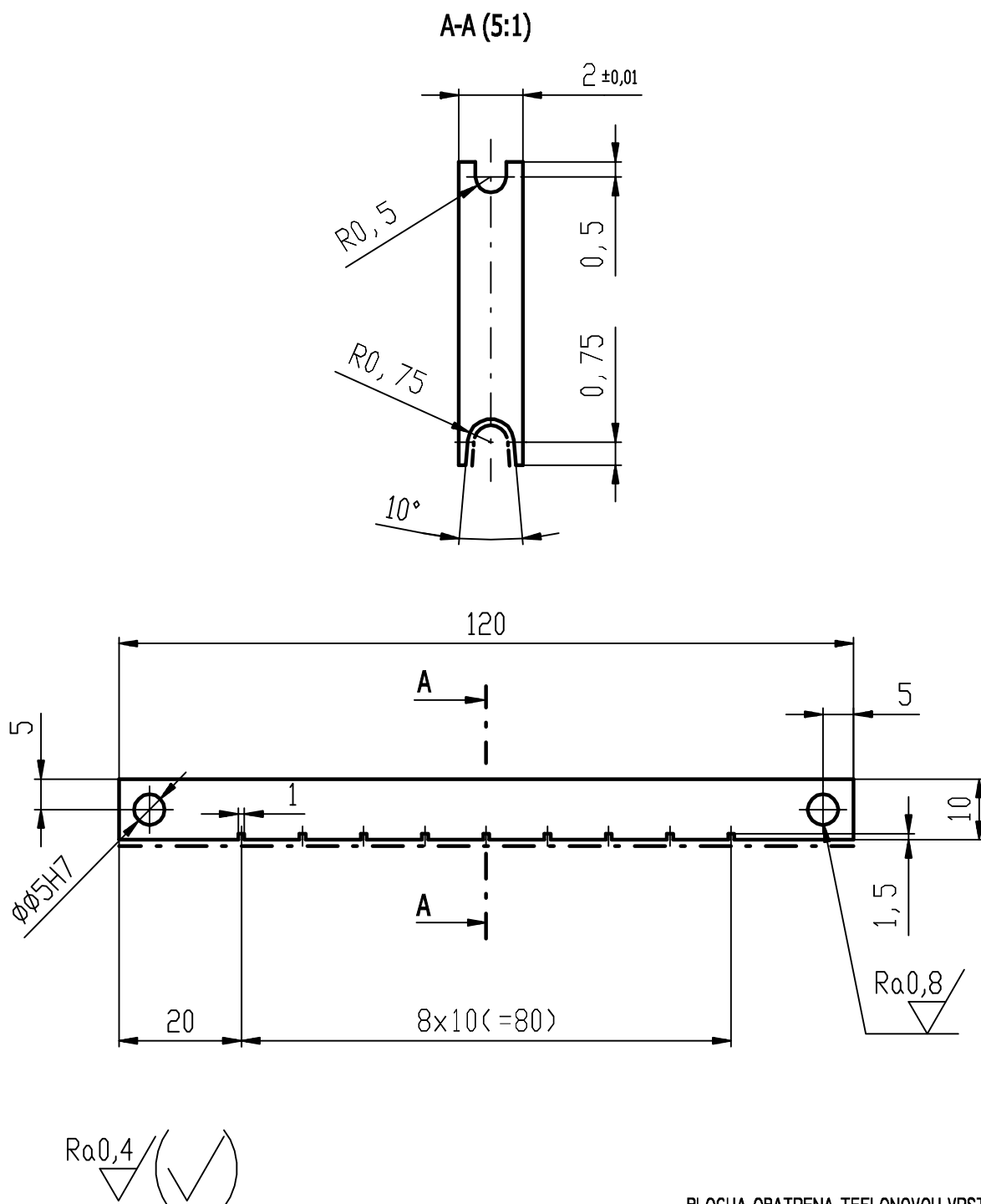
ROZM.-POLOT.		TYC PLOCHA 110x5-160 Z				CSN 42 5522.01				PRESNOST				ISO 2768-MK					
				A)				MATER.		II 343		TR. ODP.		001					
				B)				C. HM.		0.63 KG		HR. HM.							
				C)												TOLEROVÁNÍ		ISO 8015	
																PROMÍTÁNÍ			
ZMENA		DATUM		INDEX		PODPISY		 TU V LIBERCI											
MERITKO		POZN.		NAVRHL		DAVID SVOBODA													
1:1				KRESLIL		DAVID SVOBODA										NAZEV			
				PREZKOUSEL												ZAKLADNA-HORNI			
C. SEZNAMU				TECHNOLOG				TYP											
C. SESTAVY				NORMALIZ.				CIS. VYKRESU										B046/I-1.4	
STARY VYKR.				SCHVALIL															
NOVY VYKR.				DATUM		5.4.2012													




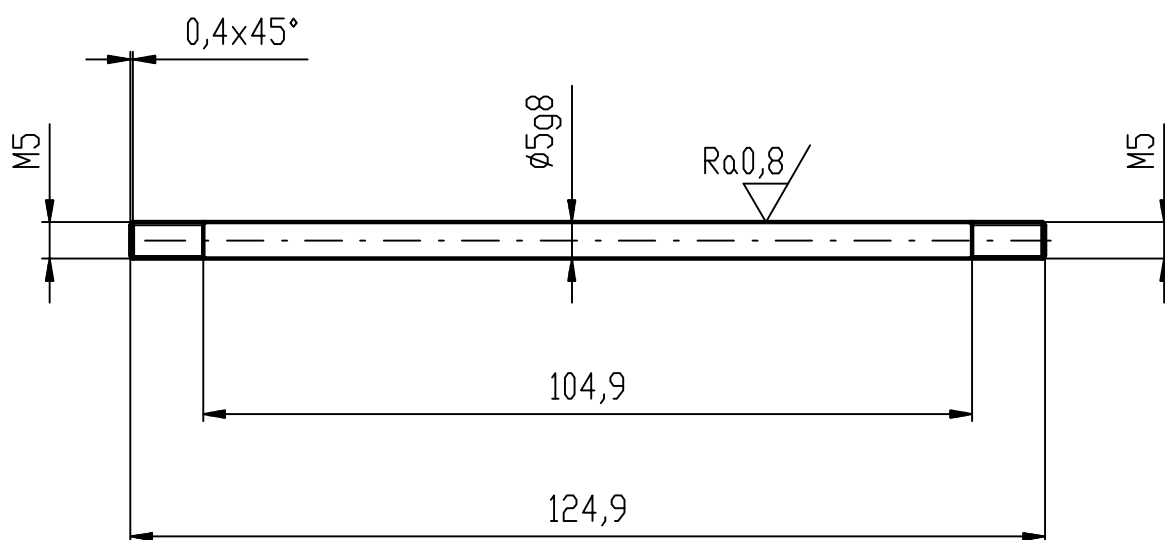
— — — PLOCHA OPATRENA TEFLONOVOU VRSTVOU

ROZM.-POLOT.		PLECH 1x100x35		CSN 42 5315					PRESNOST		ISO 2768-MK				
		A)		MATER.		17 042.2		TR. ODP.		010		TOLEROVÁNÍ		ISO 8015	
		B)		C. HM.		0.026 KG		HR. HM.				PROMÍTÁNÍ			
		C)													
ZMENA		DATUM		INDEX		PODPISY		<div> TU V LIBERCI</div> <div>NAZEV</div> <div>TVAREC-HORNI</div> <div>TYP</div> <div>CIS. VYKRESU</div> <div>B046/1-3.4</div> <div>LIST</div>							
MERITKO	POZN.	NAVRHL		DAVID SVOBODA											
1:1		KRESLIL		DAVID SVOBODA											
		PREZKOUSEL													
C. SEZNAMU		TECHNOLOG													
C. SESTAVY		NORMALIZ.													
STARÝ VYKR.		SCHVALIL													
NOVÝ VYKR.		DATUM		5.4.2012											

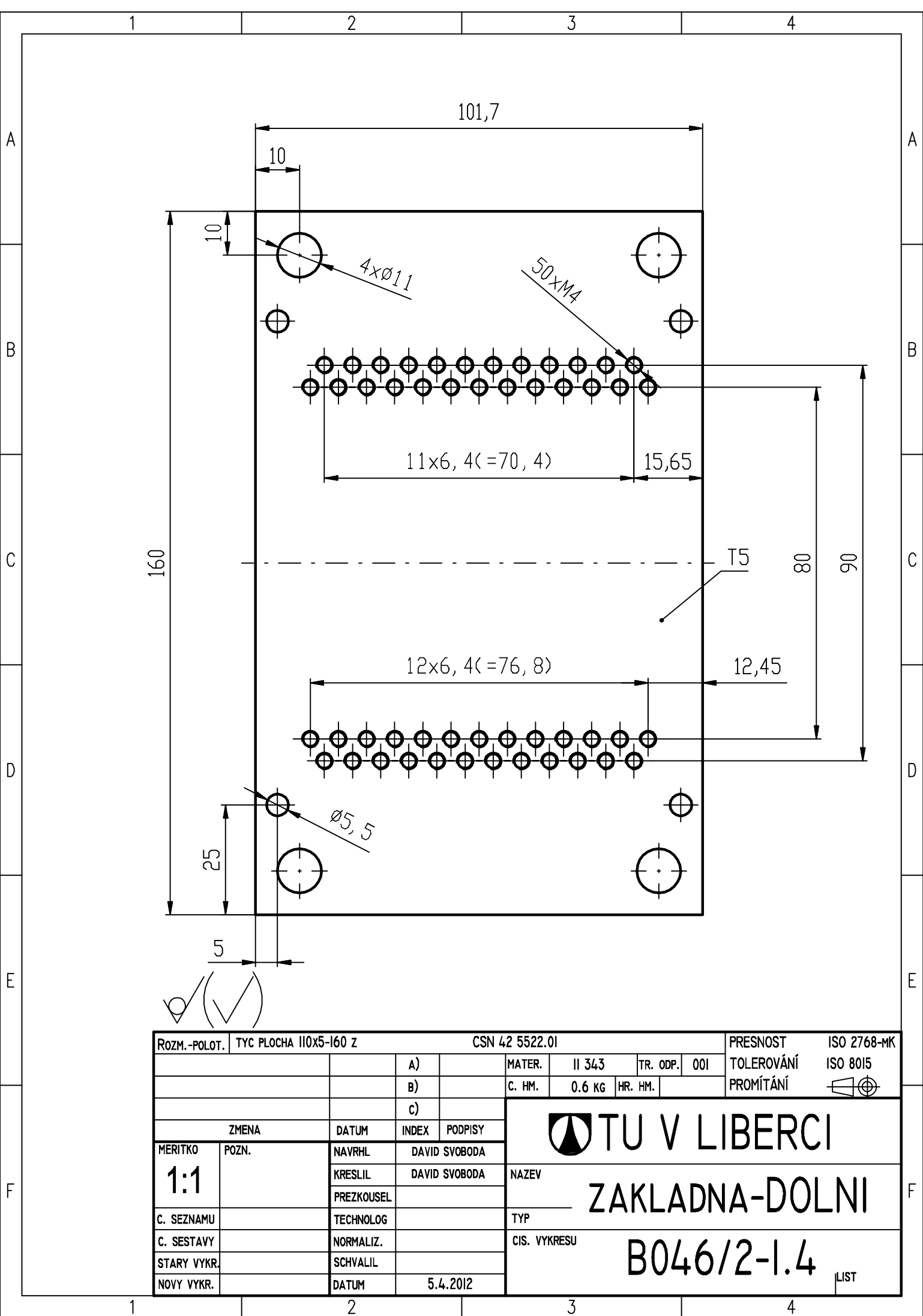
LIST

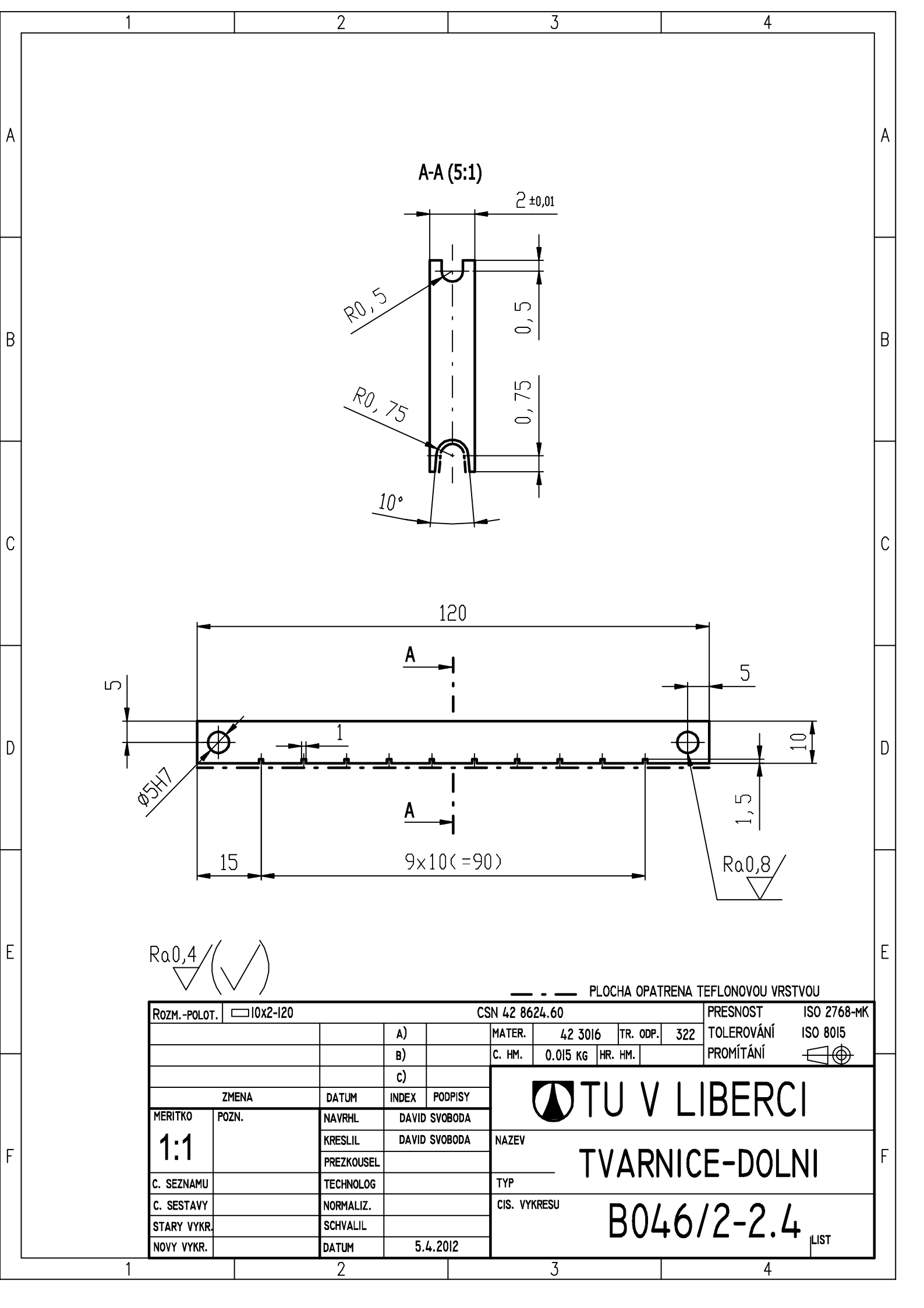


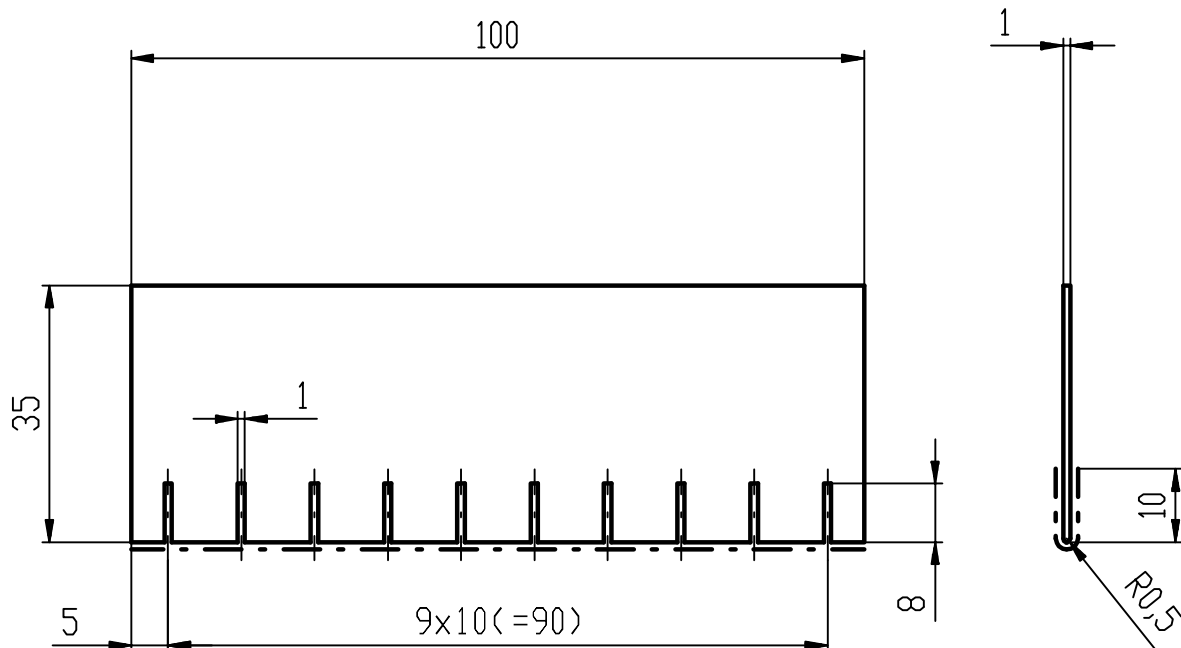
ROZM.-POLOT. $\square 10 \times 2-120$		CSN 42 8624.60				PRESNOST ISO 2768-MK	
		A)		MATER.	43 3016	TR. ODP.	322
		B)		C. HM.	0.0015 KG	HR. HM.	
		C)					
ZMENA		DATUM	INDEX	PODPISY	 TU V LIBERCI TVARNICE-HORNI B046/I-5.4		
MERITKO	POZN.	NAVRHL	DAVID SVOBODA				
1:1		KRESLIL	DAVID SVOBODA	NAZEV			
C. SEZNAMU		PREZKOUSEL		TYP			
C. SESTAVY		TECHNOLOG		CIS. VYKRESU			
STARY VYKR.		NORMALIZ.					
NOVY VYKR.		SCHVALIL					
		DATUM	5.4.2012				





ROZM.-POLOT.		KR 8-I25		CSN 42 5510				PRESNOST		ISO 2768-MK	
		A)		MATER.		II 343		TR. ODP.		001	
		B)		C. HM.		0.019 KG		HR. HM.		TOLEROVÁNÍ	
		C)								ISO 8015	
ZMENA		DATUM		INDEX		PODPISY		PROMÍTÁNÍ			
MERITKO	POZN.	NAVRHL		DAVID SVOBODA		NAZEV		TU V LIBERCI			
1:1		KRESLIL		DAVID SVOBODA		SROUB-HORNI					
C. SEZNAMU		PREZKOUSEL				TYP		B046/I-7.4			
C. SESTAVY		TECHNOLOG				CIS. VYKRESU					
STARY VYKR.		NORMALIZ.									
NOVY VYKR.		SCHVALIL									
		DATUM		5.4.2012						LIST	

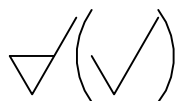
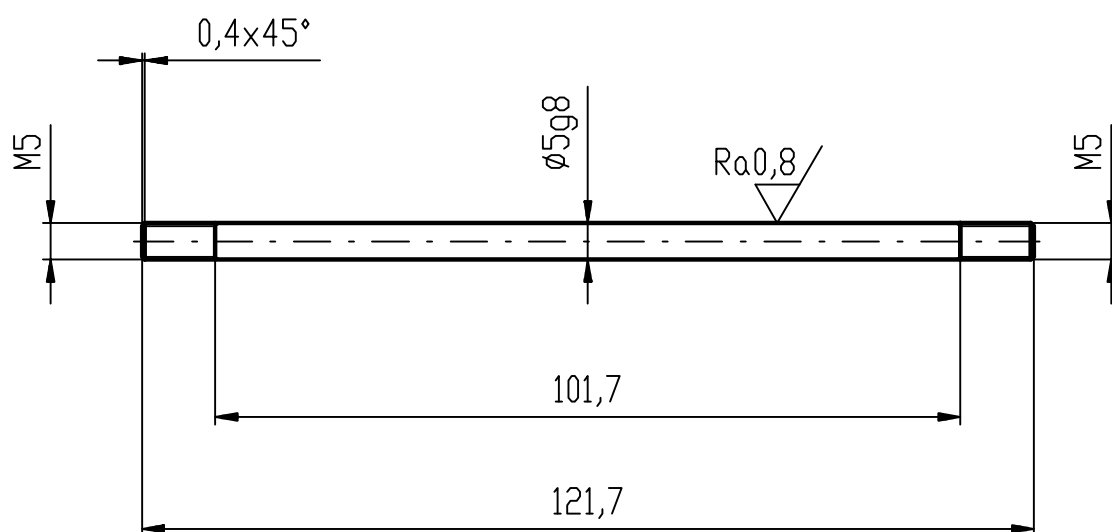






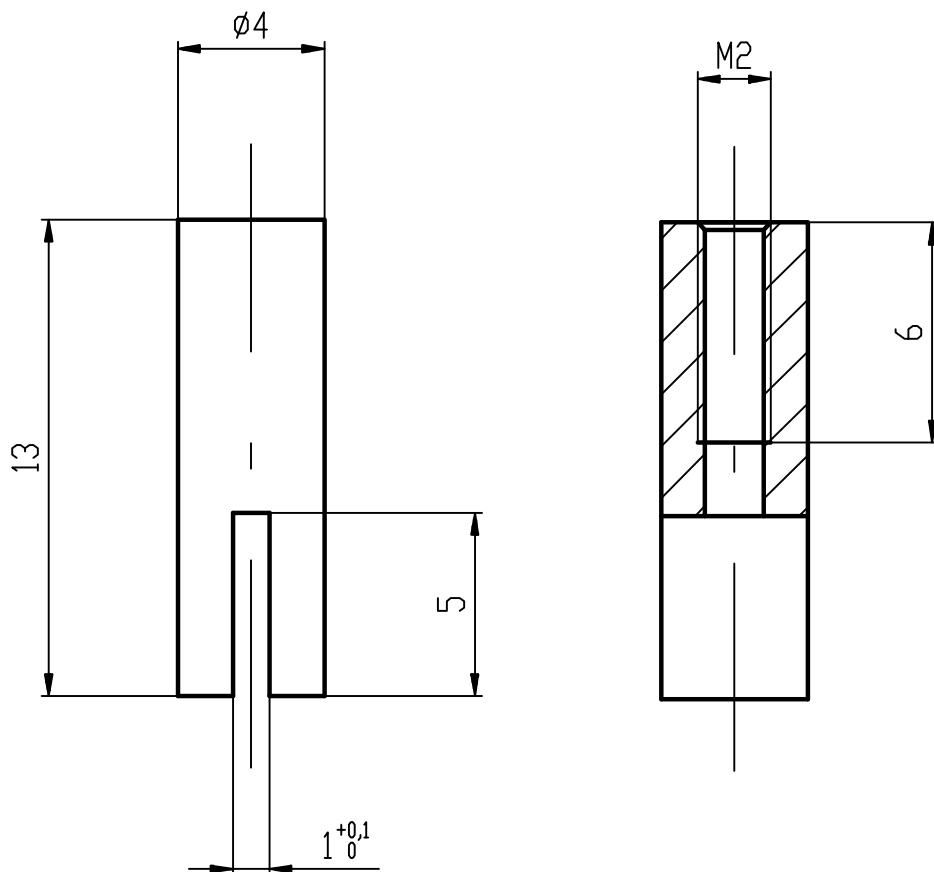
— — — PLOCHA OPATRENA TEFLONOVOU VRSTVOU

ROZM.-POLOT.		PLECH IX100x35		CSN 42 5315				PRESNOST		ISO 2768-MK								
		A)		MATER.		I7 042.2		TR. ODP.		010								
		B)		C. HM.		0.026 KG		HR. HM.		TOLEROVÁNÍ								
		C)								ISO 8015								
										PROMÍTÁNÍ								
																		
ZMENA		DATUM	INDEX	PODPISY	<div> TU V LIBERCI</div> <div>TVAREC-DOLNI</div> <div>B046/2-3.4</div> <div>LIST</div>													
MERITKO	POZN.	NAVRHL	DAVID SVOBODA															
1:1		KRESLIL	DAVID SVOBODA															
		PREZKOUSEL																
C. SEZNAMU		TECHNOLOG			NAZEV													
C. SESTAVY		NORMALIZ.			TYP													
STARÝ VYKR.		SCHVALIL			CIS. VYKRESU													
NOVÝ VYKR.		DATUM	5.4.2012															



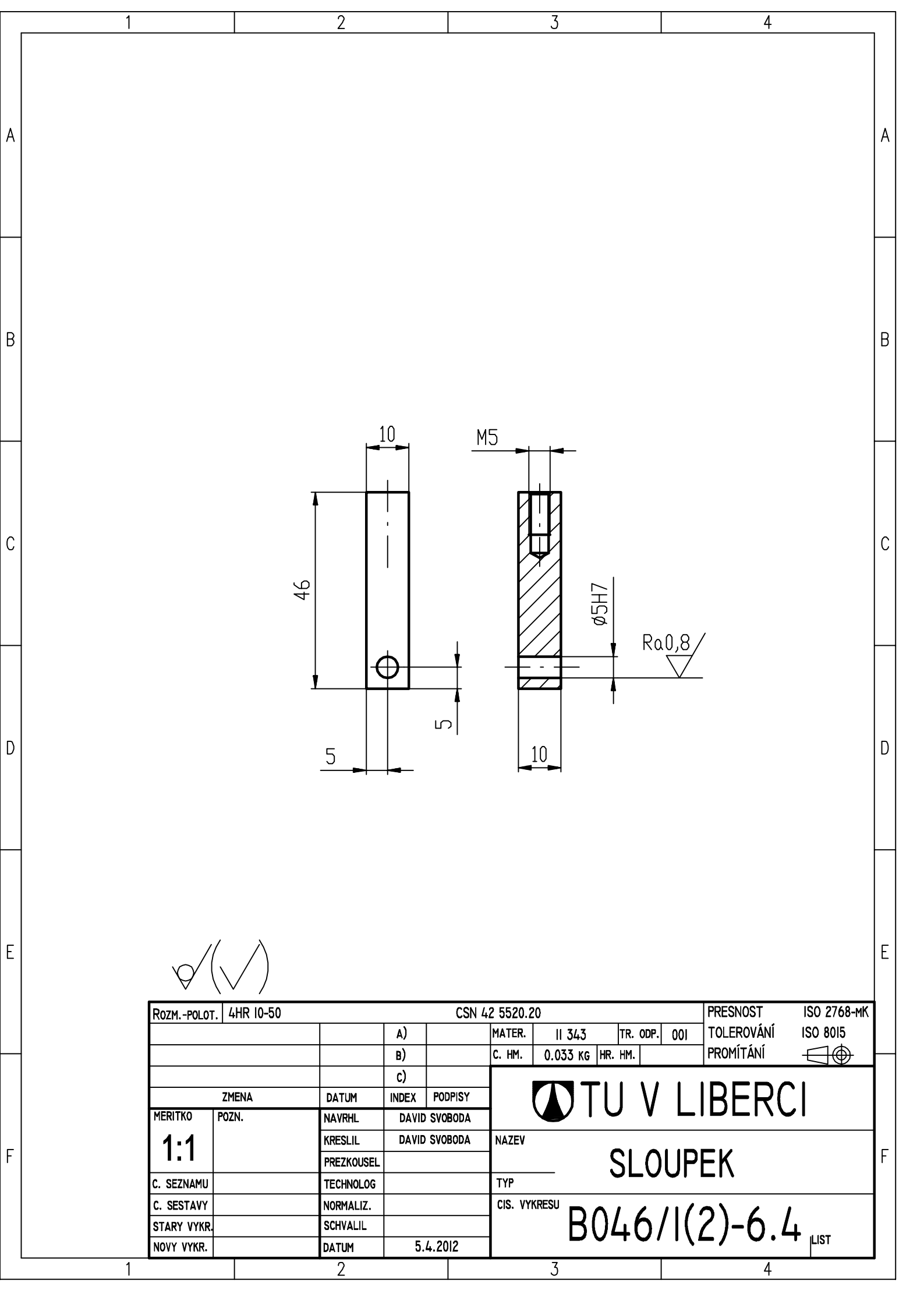
ROZM.-POLOT. KR 8-125		CSN 42 5510				PRESNOST ISO 2768-MK	
		A)		MATER.	II 343	TR. ODP.	001
		B)		C. HM.	0.018 KG	HR. HM.	
		C)					
ZMENA		DATUM	INDEX	PODPISY	TU V LIBERCI SROUB-DOLNI B046/2-5.4		
MERITKO	POZN.	NAVRHL	DAVID SVOBODA				
1:1		KRESLIL	DAVID SVOBODA				
		PREZKOUSEL					
C. SEZNAMU		TECHNOLOG			TYP		
C. SESTAVY		NORMALIZ.			CIS. VYKRESU		
STARÝ VYKR.		SCHVALIL					
NOVÝ VYKR.		DATUM	5.4.2012				

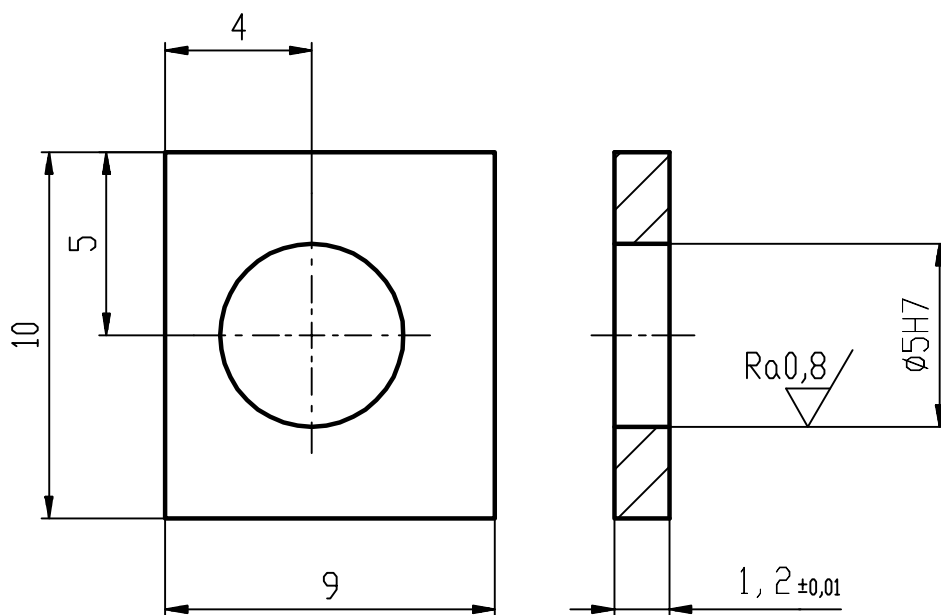
LIST



1,6 / (✓)

ROZM.-POLOT. KR 8-I5		CSN 42 5510				PRESNOST ISO 2768-MK	
		A)		MATER.	II 343	TR. ODP.	001
		B)		C. HM.	0.001 KG	HR. HM.	
		C)					
ZMENA		DATUM	INDEX	PODPISY			
MERITKO	POZN.	NAVRHL	DAVID SVOBODA				
1:5		KRESLIL	DAVID SVOBODA				
		PREZKOUSEL					
C. SEZNAMU		TECHNOLOG			TYP		
C. SESTAVY		NORMALIZ.			CIS. VYKRESU		
STARY VYKR.		SCHVALIL			B046/I(2)-4.4		
NOVY VYKR.		DATUM	5.4.2012				





ROZM.-POLOT. □ 10x2-9		CSN 42 8624.60				PRESNOST ISO 2768-MK	
		A)		MATER.	43 3016	TR. ODP.	322
		B)		C. HM.	0.001 KG	HR. HM.	
		C)					
ZMENA		DATUM	INDEX	PODPISY	TU V LIBERCI ROZPER. DESTICKA B046/1(2)-8.4		
MERITKO	POZN.	NAVRHL	DAVID SVOBODA				
1:5		KRESLIL	DAVID SVOBODA				
		PREZKOUSEL					
C. SEZNAMU		TECHNOLOG			TYP		
C. SESTAVY		NORMALIZ.			CIS. VYKRESU		
STARY VYKR.		SCHVALIL			B046/1(2)-8.4		
NOVY VYKR.		DATUM	5.4.2012				